

**Nurmikasvilajien ja säilöntäaineiden vaikutus säilörehun soveltuvuuteen
rehumehun tuotantoon**

Petteri Timonen
Maisterintutkielma
Helsingin yliopisto
Maataloustieteiden osasto
Kotieläinten ravitsemustiede
5/2019

HELSINGIN YLIOPISTO — HELSINGFORS UNIVERSITET — UNIVERSITY OF HELSINKI

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta		Laitos — Institution — Department Maataloustieteiden osasto	
Tekijä — Författare — Author Petteri Timonen			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Nurmikasvilajien ja säilöntäaineiden vaikutus säilörehun soveltuvuuteen rehumehun tuotantoon			
Oppiaine — Läroämne — Subject Kotieläinten ravitsemustiede			
Työn laji — Arbetets art — Level Maisterintutkielma		Aika — Datum — Month and year toukokuu 2019	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 69 s.
<p>Tiivistelmä — Referat — Abstract</p> <p>Suomen täydennysvalkuaisrehujen omavaraisuus on pieni. Kuitenkin nurmi kasvaa maassamme hyvin ja tuottaa suuria valkuaisstoja hehtaaria kohti. Nurmesta tehdystä säilörehusta voidaan puristaa valkuaispitoista rehumehua, joka sopii myös sikojen rehuksi.</p> <p>Tämän työn tavoitteena oli selvittää miten nurmikasvilajit ja säilöntäaineet vaikuttavat säilörehusta saatavan rehumehun määrään sekä kuiva-aineen saantoon ja pitoisuuteen. Lisäksi selvitettiin erilaisten puristinten ja säilörehun kuiva-ainepitoisuuden vaikutuksia puristustuloksiin. Tutkielma tehtiin osana Innofeed-projektia.</p> <p>Kokeet tehtiin Luonnonvarakeskuksessa Jokioisilla. Säilörehut korjattiin kasvukaudella 2016. Ensimmäisen ja toisen sadon heinä- ja apilanurmet säilöttiin pleksisiin koesiiloihin ja kolmannen sadon heinänurmi pyöröpaaleihin. Ensimmäisen sadon heinänurmea tehtiin säilörehua kahdella eri esikuivatusajalla. Säilöntäkäsittelyinä olivat vesi (kontrolli), muurahaishappopohjainen valmiste, kuitua hajottava entsyymi (2. ja 3. sato) ja maitohappobakteerivalmiste (1. sato). Nesteen ja kiintojakeen erotus tehtiin neljällä erilaisella puristimella. Säilörehut ja rehumehu analysoitiin kaikista sadoista ja kiintojake kolmannesta sadosta.</p> <p>Säilörehut säilyivät pääsääntöisesti hyvin ja vain muutamia pilaantui. Säilöntäaineet paransivat säilörehujen laatua. Säilörehujen kuiva-ainepitoisuus vaihteli eri satojen välillä runsaasti (137 – 306 g/kg). Apilarehuissa oli heiniä suuremmat raakavalkuais- ja tuhkapitoisuudet, mutta pienempi kuiva-ainepitoisuus. Apilarehuista saatiin puristettua rehumehua heiniä enemmän (0,487 vs. 0,350 kg/kg) ja mehun raakavalkuais- (179 vs. 163 g/kg ka) ja tuhkapitoisuus (189 vs. 128 g/kg ka) olivat heiniä suurempia. Samoin kuiva-aineen (0,197 vs. 0,130 kg/kg), raakavalkuaisen- (0,167 vs. 0,160 kg/kg) ja tuhkan saannot (0,433 vs. 0,270 kg/kg) rehumehuun olivat apilalla heiniä suuremmat. Sitä vastoin kuiva-ainepitoisuus (72,0 vs. 87,5 g/kg) oli rehumehussa apilalla pienempi.</p> <p>Säilöntäaineet varmistivat säilörehujen laadun, mutta eivät parantaneet rehumehun saantoa. Haplo (0,384 kg/kg) jopa heikensi rehumehun saantoa kontrolliin (0,404 kg/kg) verrattuna. Puna-apila oli heiniä parempi kasvilaji rehumehun tuotantoon, mutta ero voi johtua osittain myös kasvilajien kuiva-ainepitoisuuden eroista. Puristinten teho vaikutti puristustuloksiin erittäin paljon. Puristinten tehon kasvaessa erot säilöntäaineiden välillä vähenivät. Säilörehujen kuiva-ainepitoisuuden noustessa rehumehun saannot pienenevät, mutta rehumehun kuiva-ainepitoisuus nousi.</p> <p>Säilörehumehun tuotannossa sikojen valkuaisrehuksi on mahdollisuuksia, mutta säilöntäaineiden vaikutuksesta rehumehun raakavalkuaisen laatuun tarvitaan lisää tietoa.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords nurmikasvilaji, biojalostamo, säilöntäaine, säilörehumehu, nesteen ja kiintojakeen erotus			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Maataloustieteiden osasto ja Viikin kampuskirjasto			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information Työtä ohjasivat: tutkimusprofessori Marketta Rinne, Luonnonvarakeskus ja yliopistonlehtori Seija Jaakkola, Helsingin yliopisto			

HELSINGIN YLIOPISTO — HELSINGFORS UNIVERSITET — UNIVERSITY OF HELSINKI

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Faculty of Agriculture and Forestry		Laitos — Institution — Department Department of Agricultural Sciences	
Tekijä — Författare — Author Petteri Timonen			
Työn nimi — Arbetets titel — Title The influence of forage species and silage additives to the suitability of silage for production of silage juice			
Oppiaine — Läroämne — Subject Animal nutrition			
Työn laji — Arbetets art — Level Master's thesis		Aika — Datum — Month and year May 2019	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 69 p.
<p>Tiivistelmä — Referat — Abstract</p> <p>The self-sufficiency of protein concentrates in Finland is low. Forage plants grow well under Finnish climatic conditions and they can produce a lot of crude protein per hectare. It is possible to press juice with a high protein concentration from ensiled forage and this juice is suitable feed for pigs.</p> <p>The aim of this thesis was to find out how forage plant species and silage additives affect juice proportion, dry matter yield and dry matter concentration of the juice when juice is pressed from silage. The effects of different kinds of pressing equipment and silage dry matter concentration to pressing results was also examined. The study was conducted as part of the Innofeed project.</p> <p>The experiments were conducted at Natural Resources Institute Finland in Jokioinen. The silages were harvested during growing season 2016. First and second cut grass and clover forages were ensiled in experimental size silos and third cut grass was ensiled in round bales. Two different prewilting periods were used for first cut grasses. Additive treatments were: water as a control, formic acid based additive, fibre hydrolysing enzyme (2nd and 3rd cut) and lactic acid bacteria inoculant (1st cut). Liquid and solid fractions were separated with four different kind of equipments. Silages and liquid fractions were analysed from all cuts and solid fraction was analysed from 3rd cut.</p> <p>Silages were mostly well preserved and only a few were spoiled. Silage additives prevented spoilage. Dry matter concentration of silages differed a lot between cuts (137 – 306 g/kg). There were higher concentrations of crude protein and ash in clover silages than in grass silages, but dry matter concentration was lower. Juice proportion (0,487 vs. 0,350 kg/kg) was higher from clover silages than from grass silages. Crude protein (179 vs. 163 g/kg ka) and ash (189 vs. 128 g/kg ka) concentrations in juice were higher in clover than in grasses. Also dry matter (0,197 vs. 0,130 kg/kg), crude protein (0,167 vs. 0,160 kg/kg) and ash (0,433 vs. 0,270 kg/kg) yields were higher from clover silages than from grass silages. On the contrary, dry matter concentration (72,0 vs. 87,5 g/kg) in juice was lower in clover than in grass.</p> <p>Silage additives secured the quality of silages but they did not help to get more juice out of silage. Formic acid (0,384 kg/kg) was even worse than control (0,404 kg/kg) regarding juice proportion from silages. Red clover was better plant species than grasses for production of silage juice, but the difference may originate from differences in dry matter concentration between plant species. The pressing equipment greatly affected the results. When the efficiency of the pressing equipment rised differences between the silage additives decreased. When the dry matter concentration of the silage rised the proportion of juice decreased but dry matter concentration of juice rised.</p> <p>There is possibilities in silage juice production for pig protein feed, but more information about the effects of silage additives on crude protein quality of silage juice is still needed.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords grassland species, biorefinery, silage additive, silage juice, separation of liquid and solid fractions			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Department of Agricultural Sciences and Viikki Campus Library			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information Supervisors: Research professor Marketta Rinne, Natural Resources Institute Finland and university lecturer Seija Jaakkola, University of Helsinki			

Sisällys

1 JOHDANTO	6
2 KASVILAJIEN JA SÄILÖNNÄN VAIKUTUKSET REHUMEHUN SAANTOON JA KOOSTUMUKSEEN	8
2.1 NURMIKASVIEN KEMIALLISTA, SÄILÖNNÄLLISIÄ JA KASVULLISIA OMINAISUUKSIA	8
2.1.1 SOLUNSISÄLLYS JA SOLUSEINÄ	9
2.1.2 HEINÄKASVIT	9
2.1.3 PALKOKASVIT	10
2.2 SÄILÖNNÄN PERIAATTEET	11
2.3 SÄILÖNNÄN VAIKUTUS NURMEN KOOSTUMUKSEEN	13
2.4 SÄILÖNTÄAINEET	14
2.4.1 MAITOHAPPOBAKTEERIT	15
2.4.2 ENTSYIMIT	16
2.4.3 MUURAHAIHAPPO	17
2.5 REHUMEHUN JA KIINTOJAKEEN KOOSTUMUS	18
2.6 REHUMEHUN JA KUIVAJAKEEN SOVELTUVUUS REHUOKSI	19
3 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET	21
4 AINEISTO JA MENETELMÄT	22
4.1 NURMEN KORJUU JA ESIKUIVATUS	22
4.2 SÄILÖNTÄ	23
4.3 SIILOJEN JA PAALIEN AVAAMINEN	26
4.4 REHUJEN PURISTAMINEN	26
4.5 LABORATORIOANALYYSIT	28
4.6 LASKENTAKAAVAT	29
4.7 TILASTOLLISET MENETELMÄT	30
5 TULOKSET	31
5.1 SÄILÖREHUJEN RAAKA-AINE	31
5.2 SÄILÖREHUJEN KEMIALLINEN KOOSTUMUS	32
5.2.1 ENSIMMÄINEN SATO	32
5.2.2 TOINEN SATO	39
5.2.3 KOLMAS SATO	40
5.3 PURISTUSTULOKSET	42
5.3.1 ENSIMMÄINEN SATO	42
5.3.2 TOINEN SATO	42
5.3.3 KOLMAS SATO	43

5.3.4 SÄILÖREHUN KUIVA-AINEPITOISUUDEN VAIKUTUS PURISTUKSIIN JA LASKENNALLINEN HEHTAARIKOHTAINEN RAAKAVALKUAISSATO	45
5.4 KIINTOJAE	47
6 TULOSTEN TARKASTELU	48
6.1 SÄILÖREHUJEN RAAKA-AINE.....	48
6.2 SÄILÖREHUJEN SÄILÖNNÄLLINEN LAATU.....	50
6.3. SÄILÖREHUJEN KEMIALLIEN KOOSTUMUS JA KÄYMISTUOTTEIDEN PITOISUUS	51
6.4 SÄILÖREHUN PURISTUSTULOKSET.....	53
6.4.1 KASVILAJIEN EROT.....	53
6.4.2 SÄILÖNTÄAINEIDEN EROT	54
6.4.3 SÄILÖREHUJEN KUIVA-AINEPITOISUUDEN VAIKUTUKSET	55
6.4.4 ERI SATOJEN REHUMEHUN PITOISUUDET JA SAANNOT.....	56
6.4.5 KIINTOJAE.....	58
7 JOHTOPÄÄTÖKSET.....	59
8 KIITOKSET.....	60
9 LÄHTEET	60
LIITE 1: DLG:n (2006) ANTAMAT PISTEYTYSOHJEET SÄILÖREHUJEN SÄILÖNNÄLLISELLE LAADULLE	68
LIITE 2. MMM:N (1999) MÄÄRITTELEMÄT LAATUKRITEERIT SÄILÖREHUN SÄILÖNNÄLLISELLE LAADULLE	69

1 JOHDANTO

Suomen valkuaistäydennysrehujen omavaraisuus on huono (Kaukovirta-Norja ym. 2015). Tähän ongelmaan on herätty ja valkuaisomavaraisuuden nostamista on edistetty erilaisissa hankkeissa (esim. MoniPalko, OMAVARA, Valkuaisfoorumi, ScenoProt ja INNOFEED). Yhtenä vaihtoehtona perinteisille valkuaistäydennysrehuille kuten soijalle, rapsille ja palkoviljoille on tuottaa valkuaisrehua nurmesta. Etenkin sinimailasen, joka on maailman tärkein nurmipalkokasvi, käyttöä yksimahaisille ja jopa ihmisille sopivan valkuaisrehun tuotantoon on tutkittu runsaasti jo 1940-luvulta lähtien (Pirie 1942, Pirie 1959, Barber ym. 1979). Keski-Euroopan maissa, Brittein saarilla ja Pohjoismaissa nurmen käyttöä biojalostamojen raaka-aineena ja nurmen puristusprosessia (Kamm ym. 2009, Kamm ym. 2010, Mandl 2010) sekä rehumehun ja kuivajakeen käyttöä rehuna (McEniry ja O' Kiely 2014, Stødkilde ym. 2018, Damborg ym. 2018, Savonen ym. 2018, Rinne ym. 2018b, Hulkkonen 2019) on tutkittu viimeisen reilun kymmenen vuoden aikana runsaasti. Säilönnän ja säilöntäaineiden vaikutuksista mahdolliseen rehumehun tuotantoon on kuitenkin vain vähän tietoa, koska useimmissa tapauksissa on keskitytty käyttämään raaka-aineena tuoretta nurmea. Säilörehun käyttö tasaa kuitenkin työhuippuja ja helpottaa logistiikkaa tuoden nurmirehun uusiin käyttömuotoihin useita etuja.

Nurmi tuottaa jopa palkoviljoja runsaampia valkuaissatoja hehtaaria kohden (Kaukovirta-Norja ym. 2015). Nurmia sekä nurmiviljelyyn sopivia peltoja on Suomessa runsaasti, sillä erilaisia nurmia ja kesantoja on maamme maatalousmaan kokonaispinta-alasta 43 % (Suomen virallinen tilasto 2017). Nurmiemme vuotuinen satotaso on kuitenkin varsin vaatimaton, noin 6000 kg kuiva-ainetta (ka)/hehtaarilta (ha), vaikka parhaisiin lohkoihin keskittymällä ja viljelyyn panostamalla olisi helpostikin mahdollista saada 9000 – 10000 kg ka/ha (ProAgria Keskusten Liitto 2016). Näin pienemmältä pinta-alalta saataisiin nautojen tarvitsema karkearehu ja loput pellot voisi hyödyntää muutoin vaikkapa biojalostamojen raaka-aineena tai metsittää.

Ensimmäinen askel nurmen hyödyntämisessä biojalostamoissa on rehun puristaminen, jolloin kuitupitoinen aines jää kiintojakeeseen ja vesiliukoiset aineet suurelta osin puristusmehuun (Kromus ym. 2008). Rehumehun vesiliukoiset aineet soveltuvat yksimahaisten ruokintaan (Stødkilde ym. 2018). Raaka-aineen tasaisen ympärivuotisen saannin takia nurmi kannattaa säilöä, vaikka näin menetetäänkin osa arvokkaista ravintoaineista kuten sokereista ja proteiineista (Kromus ym. 2008). Rehumehun rehukäytön kannalta tärkein tekijä on liukoisten proteiinien hajoaminen eli proteolyysi. Hyvin säilyneessä rehussa suuri osa proteiineista on hajonnut jo niiton ja säilönnän välillä kasvientsyymien toiminnan seurauksena peptideiksi ja aminohapoiksi (Carpintero ym. 1979), jotka ovat liukoisia ja joita myös yksimahaiset eläimet voivat hyödyntää. Huonosti säilötyssä rehussa mikrobit jatkavat hajotusta yksinkertaisemmiksi tyypelliseksi yhdisteiksi kuten ammoniakiksi, jotka eivät ole yksimahaisten hyödynnettävissä. Hyvin säilyneessä rehussa maitohappokäymistä edistäviä säilöntäaineita käytettäessä vesiliukoiset hiilihydraatit muutetaan suurimmaksi osaksi maitohapoksi. Käymistä rajoittavia säilöntäaineita käytettäessä vesiliukoiset hiilihydraatit puolestaan säilyvät rehussa. Huonosti säilyneessä rehussa tapahtuu maitohappokäymisen lisäksi virhekäymistä eli vesiliukoisia hiilihydraatteja muutetaan esimerkiksi etanoliksi tai voihapoksi. Tällöin osa energiasta menee hukkaan muodostuneen hiilidioksidin muodossa (McDonald ym. 1991). Säilöntäaineilla on mahdollista parantaa rehun säilyvyyttä ja rajoittaa etenkin tyypellisten yhdisteiden hajoamista (Winters ym. 2001, Guo ym. 2008). Säilöntäaineet voivat vaikuttaa myös muihin rehun ominaisuuksiin kuten soluseinien hajoamiseen tai puristenesteen määrään (Jaakkola ym. 1991, Winters ym. 2001) ja tätä kautta vaikuttaa puristusprosessin tehokkuuteen.

Suomessa yleisimpiä nurmiheinäkasveja ovat timotei (*Phleum pratense* L.) ja nurminata (*Festuca pratensis* L.), koska ne kestävät hyvin talveamme. Nurmipalkokasveista yleisin on puna-apila (*Trifolium pratense* L.), jolla on myös kohtuullinen talven kestävyys. Puna-apila sisältää polyfenolioksidaasia, joka vähentää valkuaisaineiden proteolyysiä säilönnän aikana muihin palkokasveihin ja heiniin verrattuna (Sullivan ja Hatfield 2006) ja sillä voi olla positiivinen vaikutus rehumehun laatuun.

Heinä ja palkokasvit eroavat toisistaan huomattavasti. Heinäkasveissa on yleensä palkokasveja suurempi kuitu- ja vesiliukoisten hiilihydraattien pitoisuus. Samoin kuiva-ainepitoisuus on heinissä yleensä luontaisesti suurempi, vaikka lopullinen kuiva-ainepitoisuus riippuu suuresti mahdollisesta esikuivatuksesta ja sen onnistumisesta. Palkokasveissa on tyypillisesti heiniä suurempina pitoisuuksina raakavalkuaista, kivennäisaineita, muita solunsisällysaineita ja sulamatonta kuitua (Buxton ja Redfearn 1997, Rinne ja Nykänen 2000, Huhtanen ym. 2006), mutta mm. lannoitus ja korjuu-aika vaikuttavat näihin ominaisuuksiin myös huomattavan paljon. Säilöttävyyden kannalta palkokasvit ovat heiniä hankalampia pienemmän vesiliukoisten hiilihydraattien ja kuiva-ainepitoisuutensa sekä suuremman puskurikapasiteettinsa vuoksi (Muck 2010).

Tämän tutkielman tulokset on julkaistu kolmessa kongressijulkaisussa (Rinne ym. 2018a, Franco ym. 2018b, Rinne ym. 2018c) ja tuloksia on käytetty Francon ym. (2018a) meta-analyysissä, jossa tarkasteltiin säilörehun laatutekijöiden vaikutusta mehusaantoon biojalostamoprosessissa.

2 KASVILAJIEN JA SÄILÖNNÄN VAIKUTUKSET REHUMEHUN SAANTOON JA KOOSTUMUKSEEN

2.1 NURMIKASVIEN KEMIALLISTIA, SÄILÖNNÄLLISIÄ JA KASVULLISIA OMINAISUUKSIA

Nurmikasvit voidaan jakaa kahteen hyvin erilaiseen kemialliseen osaan: soluseinään ja solunsisällykseen (Rooke ja Hatfield 2003). Näiden osien pitoisuus nurmikasveissa vaihtelee suuresti kehitysvaiheen mukaan. Aikaisessa kehitysvaiheessa nurmikasvit sisältävät huomattavan paljon solunsisällysaineita ja vettä, mutta kasvien vanhetessa soluseinäaineiden pitoisuus kasvissa lisääntyy ja vesipitoisuus pienenee. Tämä johtuu kasvin verson ja varren osuuden lisääntymisestä kasvissa nuoriin lehtiin nähden. Kasvin ikääntyessä biomassa ja sato pinta-alaa kohden kasvavat (Rinne ja Nykänen 2000). Nuoresta kasvista olisi helposti saatavissa runsaasti solunsisällysaineita sisältävää

rehumehua puristettua säilörehu kilogrammaa kohti, mutta peltohehtaaria kohti sato jäisi kovin pieneksi. Kovin vanhasta nurmesta mehua tulisi suhteessa vähemmän ja runsas biomassa vaatisi paljon varastointi tilaa.

2.1.1 SOLUNSIÄLLYS JA SOLUSEINÄ

Solunsisällysaineet, kuten sokerit sekä suurin osa proteiineista, ovat helposti yksimahaistenkin kotieläinten ruuansulatuskanavassa sulavia. Myös kivennäisaineista suuri osa on solunsisällyksessä. Solunsisällysaineet ovat vesiliukoisia ja noin 75 % tuoreen kasvin proteiineista on liukoisia (Rooke ja Hatfield 2003). Carpinteron ym. (1979) tekemässä kokeessa tuoreessa raiheinä – apilanurmessa oli valkuaisaineityppeä kokonaistypestä yli 900 g/kg. Guon ym. (2008) tutkimuksessa tuoreen sinimailasen valkuaispitoisuus oli lähellä 900 g/kg kokonaistypeä.

Soluseinä koostuu rakenteellisista hiilihydraateista kuten selluloosasta ja hemiselluloosasta sekä hiilihydraatteihin kuulumattomasta ligniinistä. Jonkun verran myös muita aineita, kuten valkuaisaineita, on sitoutunut soluseiniin (Buxton ja Redfearn 1997). Soluseinissä on myös kalsiumia ja nurmipalkokasveilla erityisen runsaasti. Soluseinän yhdisteet eivät sula eläinten tuottamien entsyymien avulla, vaan avuksi tarvitaan mikrobien tuottamia entsyymejä.

2.1.2 HEINÄKASVIT

Nurmiheinäkasvit ja nurmipalkokasvit poikkeavat toisistaan paljon kasvutavoiltaan, kehitykseltään ja koostumukseltaan. Siksi näiden kasviryhmien läpikäynti erikseen on tarpeen.

Nurmiheinäkasvien keskimääräinen raakavalkuaispitoisuus oli Pohjois-Eurooppalaisessa LEGSIL-projektissa lannoittamattomassa nurmessa 113 g/kg ka ja hyvin lannoitetussa

nurmessa 133 g/kg ka (Halling ym. 2002). Solunsisällyksaineiden pitoisuus laskee kasvuston vanhetessa nopeastikin, koska korren osuus lehtiin nähden lisääntyy etenkin kevätsadossa. Erityisesti heti tähkän tultua esiin alkaa nopea sulavuuden heikkeneminen. Jälkikasvustoissa vanheneminen on hitaampaa, koska heinät versovat enemmän ja lehtiä huonommin sulavan korren muodostus on vähäisempää (Gustavsson ja Martinsson 2004). Neutraalidetergenttikuitupitoisuus (NDF) kotimaisissa heinäsäilörehuissa on ollut keskimäärin noin 550 g/kg ka (Huhtanen ym. 2006, Salo ym. 2014). NDF-pitoisuus vaihtelee kuitenkin paljon korjuuajasta ja korjuukerrasta riippuen.

Timotei on erittäin talven kestävä ja siksi Suomessa ja muissa pohjoisissa maissa tärkein heinäkasvi. Timotein kanssa seoskasvustona kasvatetaan yleensä nurminataa, mikä parantaa nurmen jälkikasvukykyä. Nurminata on myös talvenkestävä, mutta ei aivan yhtä kestävä kuin timotei.

2.1.3 PALKOKASVIT

Kirchhofin ym. (2010) mukaan palkokasvit sisältävät runsaasti liukoista raakavalkuaista ja vähän soluseinään sitoutunutta raakavalkuaista, mikä tekee niistä hyviä rehumehun tuotantoon. Viiden nurmipalkokasvilajin keskimääräinen raakavalkuaispitoisuus vaihteli Pohjois-Eurooppalaisessa LEGSIL-projektissa 194 – 225 g/kg ka (Halling ym. 2002). Raakavalkuaispitoisuus on suurempi kuin heinäkasveissa ja myös yksimahaisille soveltuva puristusehjuun erottuva raakavalkuaisten osuus on suurempi kuin heinissä (Elizalde ym. 1999). Solunsisällyksaineidenpitoisuus on palkokasveissa yleisesti ottaen heinäkasveja suurempi (Buxton ja Redfearn 1997). Palkokasveilla on heiniin verrattuna pienempi vesiliukoisten hiilihydraattien pitoisuus, suurempi puskurikapasiteetti ja pienempi kuiva-ainepitoisuus. Näiden tekijöiden vuoksi palkokasvit ovat heiniä vaikeampia säilöittäviä. Vesiaktiivisuus on palkokasveilla kuitenkin heiniä pienempi, kun näiden kasviryhmien kuiva-ainepitoisuus on samalla tasolla (Muck 2010).

Puna-apila on Suomen oloissa parhaiten menestyvä sekä satoisin nurmipalkokasvi hehtaariuotannon kannalta. Keskimääräinen raakavalkuaispitoisuus oli Hallingin ym. (2002) tutkimuksessa Pohjois-Eroopassa 194 g/kg ka. Huhtasen ym. (2006) tutkimuksessa palkokasvisäilörehujen raakavalkuaispitoisuus oli keskimäärin 211 g/kg ka ja NDF-pitoisuus oli 369 g/kg ka. Soluseinäaineiden pitoisuus lehdisissä ei juurikaan lisäännä kasvuasteen muuttuessa, mutta varsien soluseinäaineiden pitoisuus on alusta asti suurempi kuin heinillä (Buxton ja Redfearn 1997). Puna-apilan kokonaiskuitupitoisuus on heiniä pienempi ja vastaavasti solunsisällysaineiden pitoisuus suurempi. Puna-apilassa on heiniä pienempi NDF-pitoisuus, mutta suurempi sulamattoman neutraalidetergenttikuidun (iNDF) pitoisuus (Huhtanen ym. 2006, Rinne ym. 2006).

Typensidontaominaisuudesta on hyötyä lannoituksen vähentämisen kannalta ja seoskasvustoissa heinäkasvien kanssa. Yleisesti palkokasvien proteolyysi on vilkkaampaa säilönnän aikana kuin heinillä. Puna-apilan polyfenolioksidaasi kuitenkin hillitsee proteolyysiä, minkä ansiosta valkuaisaineet säilyvät paremmin säilönnän aikana verrattuna sinimailaseen (Sullivan ja Hatfield 2006, Lee ym. 2008). Tästä voi olla hyötyä rehumehun puristuksessa, jos polyfenolioksidaasi ei rajoita typpiyhdisteiden liukoisuutta ja siten erottumista puristusmehuun tai sulavuutta yksimahaisten ruuansulatuskanavassa.

2.2 SÄILÖNNÄN PERIAATTEET

Säilöntä perustuu rehumassan hapettomuuteen ja happamuuteen. Hapeton säilö on ehdoton vaatimus rehun säilymiselle. Säilönnän alussa rehumassan mikrobit käyttävät säilöön jääneen hapen loppuun nopeasti ja maitohappobakteerit saavat rehussa vallan. Maitohappobakteerit käyttävät rehun vesiliukoisia sokereita omaksi energiakseen ja tuottavat samalla maitohappoa. Maitohappo laskee rehun pH:n hyvissä oloissa alle neljän, mikä varmistaa kostean rehun säilymisen. Kuivemmissa rehuissa pH:n ei tarvitse laskea yhtä paljon kuin kosteilla rehuilla. Hyvin säilyneessä rehussa on runsaasti maitohappoa ja vähän voi-happoa, etanolia ja ammoniumtyyppiä (McDonald ym. 1991, Pahlow ym. 2003).

Myös kasvilajin ominaisuuksilla on vaikutusta säilönnän onnistumiselle. Runsas vesiliukoisten sokerien pitoisuus parantaa säilymisen onnistumisen edellytyksiä, koska maitohappobakteereille riittää ravintoa. Kasvilajin puskurikapasiteetilla eli sillä kuinka hyvin kasvin sisältämät yhdisteet vastustavat pH:n laskua on myös suuri merkitys. Korkea puskurikapasiteetti tarkoittaa kasvin tarvitsevan enemmän maitohappoa tai säilöntähappoja happamoitumiseensa tavoitetasolle (McDonald ym. 1991).

Myös pieni vesiaktiivisuus estää monien haitallisten mikrobien kasvun rehussa (Pahlow ym. 2003). Kasvilaji vaikuttaa vesiaktiivisuuteen, sillä joillain kasvilajeilla vesiaktiivisuus on pienempi kuin toisilla, vaikka kuiva-ainepitoisuus olisikin sama. Tähän vaikuttavat kasvin sisältämät yhdisteet kuten suolat. Säilöttävän massan kuivaaminen pienentää myös vesiaktiivisuutta (Muck 2010). Esikuivattamalla rehu ennen säilöntää nopeasti hyvissä sääolosuhteissa, saadaan vesiaktiivisuutta pienennettyä eikä satotappioita synny. Huonoissa sääoloissa kuivatusaika venyy ja ravintoaineita menetetään (Carpintero ym. 1979). Esikuivatus myös lisää vesiliukoisten sokerien pitoisuutta rehussa, kuten muidenkin kuiva-aineeseen kuuluvien yhdisteiden pitoisuutta, koska laimentavan veden määrä vähenee.

Jos maitohappobakteerit eivät pääse voitolle rehumassassa, aiheuttavat muut mikrobit suuria energian ja valkuaisaineiden tappioita. Märissä rehuissa on suuri riski klostridibakteerien aiheuttamalle virheikäymiselle (McDonald ym. 1991). Klostridit kykenevät toimimaan jopa pH:n ollessa 4,2. Klostridit viihtyvät märissä rehuissa eli esikuivatus auttaa niitä vastaan. Klostridit aiheuttavat jälkikäymistä eli ne käyttävät maitohappoa energianlähteenään ja tuottavat voihippaa. Voihippo on maitohappoa heikompi happo ja kahdesta moolista maitohappoa tuotetaan vain yksi mooli voihippaa. Tämän seurauksena pH pääsee nousemaan. Klostridien aiheuttama pH:n nousu antaa monille muille haittamikrobeille kuten enterobakteereille tilaisuuden aloittaa oman toimintansa, jolloin tappiot energian ja valkuaisaineiden osalta kasvavat edelleen (Pahlow ym. 2003). Suuri voihippopitoisuus rehussa kertoo klostridien toiminnasta.

Suuri ammoniumtyppipitoisuus kertoo enterobakteerien toiminnasta, mutta myös osa klostrideista muodostaa ammoniumtyypeä (McDonald ym. 1991, Pahlow ym. 2003).

Rehumassan tavoite pH 4 ei vielä riitä estämään homeiden ja hiivojen kasvua (McDonald ym. 1991). Hiivat voivat toimia kunnes pH laskee 3,5:een. Harvoin säilörehujen pH laskee kuitenkaan näin alas (Muck 2010). Tästä syystä etenkin hiivojen, mutta myös homeiden, hillinnässä tärkeä rooli on muilla orgaanisilla hapoilla kuin maitohapolla. Etikka- ja propionihappo ovat tehokkaita hillitsemaan homeiden ja hiivojen kasvua. Näiden happojen avulla myös rehun aerobista kestävyyttä siilon avaamisen jälkeen voidaan pidentää. Homeiden kannalta on tärkeää estää ilman pääsy rehumassaan, koska homeet ovat tiukasti aerobisia (Pahlow ym. 2003).

2.3 SÄILÖNNÄN VAIKUTUS NURMEN KOOSTUMUKSEEN

Säilöntä vaikuttaa aina suuresti nurmikasvien koostumukseen. Tuore nurmi sisältää runsaasti vettä ja vesiliukoisia sokereita. Myös liukoisia proteiineja on runsaasti. Säilyvyyden parantamiseksi ja korjuun helpottamiseksi esikuivatus on yleistä ja se vähentää vesipitoisuutta. Säilörehussa vesiliukoisia sokereita on huomattavasti vähemmän tuorekasvustoon verrattuna, koska mikrobit käyttävät vesiliukoisia sokereita omiin elintoimintoihinsa. Hyvin säilyneessä rehussa sokereiden muuttaminen maitohapoksi aiheuttaa vain pieniä energiataappioita. Valkuaisaineita hajoaa aina varsin huomattava määrä säilönnän aikana. Huonosti säilynyt rehu on menettänyt runsaasti helposti sulavia ravintoaineita ja paljon ravintoaineita on muuttunut yksinkertaisemmiksi yhdisteiksi. Huonosti säilyneessä rehussa kuiva-aine-, energia- ja valkuaisainetappiot voivat olla suuria (McDonald ym. 1991, Pahlow ym. 2003).

Heti kasvuston niiton jälkeen alkaa kasvientsyymien aiheuttama proteolyyysi eli valkuaisaineiden hajoaminen yksinkertaisemmiksi typpi yhdisteiksi kuten peptideiksi ja aminohapoiksi (Ohshima ja McDonald 1978). Hyvissä olosuhteissa tapahtuvan

esikuivatuksen aikana proteiineja hajoaa vähän tuoreeseen nurmeen verrattuna (Guo ym. 2008). Valkuaisaineita hajottavien kasvientsyymien toiminta vähenee pH:n laskettua tarpeeksi alas, koska näiden entsyymien pH-optimi on yli 5 (Ohshima ja McDonald 1978).

Säilönnän aikana mikrobien tuottamat entsyymit voivat jatkaa valkuaisaineiden hajotusta peptideiksi ja aminohapoiksi sekä aina ammoniakiksi asti, mutta hyvin säilyneessä rehussa mikrobien proteolyyysi on vähäistä (Carpintero ym. 1979). Proteolyyysin seurauksena etenkin liukoiset proteiinit vähenevät huomattavasti säilönnän aikana (Guo ym. 2008). Proteiineista hajoaa hyvin säilyneessäkin rehussa puolet ja huonosti säilyneessä rehussa proteiinit hajoavat suurelta osin (Carpintero ym. 1979). Typpiyhdisteiden suhteet vaihtelevat suuresti säilöntäaineesta (Guo ym. 2008), säilönnän onnistumisesta (McDonald ym. 1991) ja kasvilajista riippuen (Solati ym. 2017).

Hyvin säilyneessä timotei-nurminatasäilörehussa oli Choin ym. (2003) tutkimuksessa vapaina aminohappoina kevätsadossa 427 g/kg typpeä (N) ja kesäsadossa 279 g/kg N. Peptideinä ja liukoisina proteiineina oli samassa tutkimuksessa kevätsadossa 188 g/kg N ja 53 g/kg N ja kesäsadossa vastaavasti 167 g/kg N ja 47 g/kg N. Sinimailasrehussa oli säilöntäaineesta riippuen Guon ym. (2008) mukaan aminohappoina 242 – 519 g/kg N. Samassa tutkimuksessa peptidejä oli sinimailassäilörehussa 44 – 162 g/kg N ja liukoisia proteiineja 161 – 291 g/kg N. Nämä yhdisteet ovat vesiliukoisia ja siksi ne voisivat pääosin erottua puristettaessa mehuun.

2.4 SÄILÖNTÄAINEET

Säilöntäaineiden tarkoituksena on varmistaa rehujen säilyvyys säilönnän aikana ja estää pilaantumista myös siilon avaamisen jälkeen. Riittävä kuiva-ainepitoisuus, pieni puskurikapasiteetti, suuri vesiliukoisten sokerien määrä sekä hygieeniset korjuuolosuhteet mahdollistavat säilönnän myös ilman säilöntäaineita. Useinkaan

olosuhteet eivät kuitenkaan ole säilönnän kannalta optimaaliset ja säilöntäaineilla tilannetta voidaan parantaa. Säilöntäaineilla voidaan laskea pH:ta, estää haitallisten pilaajamikrobien kasvua tai lisätä hyödyllistä maitohappokäymistä, mutta hapettomuutta niillä ei voi korvata (McDonald ym. 1991, Kung Jr. ym. 2003).

Kung ym. (2003) jakavat säilöntäaineet neljään ryhmään: käymistä edistäviin, käymistä rajoittaviin, aerobista pilaantumista estäviin sekä ravinteisiin ja vettä imeviin aineisiin. Maitohappobakteerit ja entsyymit kuuluvat ensimmäiseen ryhmään ja muurahaishappo toiseen ryhmään. Heterofermentatiiviset maitohappobakteerit voidaan lukea kuuluviksi myös kolmanteen ryhmään, koska niiden tarkoituksena on tuottaa rehuun maitohapon lisäksi myös muita orgaanisia happoja kuten etikka- ja propionihappoa, jotka vähentävät aerobista pilaantumista siilon avaamisen jälkeen.

2.4.1 MAITOHAPPOBAKTEERIT

Maitohappobakteereja rehumassaan lisäämällä pyritään varmistamaan näiden hyödyllisten mikrobien riittävä määrä heti säilönnän alussa, jotta varmistettaisiin maitohappobakteerien pääsy rehumassan vallitseviksi mikrobeiksi. Samalla myös valitaan kannat, joilla tiedetään olevan rehunsäilönnän kannalta parhaat ominaisuudet.

Maitohappobakteerit jaetaan yleensä kahteen pääluokkaan niiden metaboliatuotteiden mukaan (McDonald ym. 1991). Homofermentatiiviset maitohappobakteerit tuottavat vesiliukoisista heksoosisokereista lähinnä maitohappoa. Heterofermentatiiviset maitohappobakteerit voivat käyttää vesiliukoisten sokerien lisäksi myös maitohappoa energianlähteenään. Heterofermentatiiviset kannat tuottavat maitohapon lisäksi muitakin orgaanisia happoja kuten etikka- ja propionihappoja sekä etanolia ja hiilidioksidia (McDonald ym. 1991, Pahlow ym. 2003). Heterofermentatiivisten maitohappobakteerien toiminnassa syntyy suuremmat energiatappiot kuin homofermentatiivisten maitohappobakteerien toiminnasta. Suuremmat energiatappiot johtuvat etikkahapon tuottamisessa syntyvästä hiilidioksidista (Kung Jr. ym. 2003).

Maitohappo on myös vahvin näistä maitohappobakteerien tuottamista orgaanisista hapoista, jolloin muiden happojen tuottaminen ei johda niin nopeaan pH:n laskuun (Pahlow ym. 2003).

Maitohappobakteerit vähentävät ammoniumtypen osuutta kokonaistypestä verrattuna painorehuun ja lisäävät liukoisten proteiinien säilymistä rehussa eli proteolyysi siis vähenee. Bakteerien lisäys nopeuttaa rehumassan pH:n laskemista painorehuun verrattuna ja pH myös laskee alemmas (Lee ym. 2008). Maitohappobakteerit käyttävät rehun vesiliukoisia sokereita maitohapoksi, ja siksi riittävä vesiliukoisten sokereiden pitoisuus säilöttävässä nurmessa on tärkeää säilönnän onnistumiseksi. Joissakin tapauksissa soluseiniä hajottavia entsyymejä on samassa säilöntäaineessa maitohappobakteerien kanssa sekoituksena. Entsyymien tarkoituksena on varmistaa soluseiniä hajottamalla sokerien riittävyys maitohappobakteereille (Kung Jr. ym. 2003). Myös riittävä kuiva-ainepitoisuus on tarpeen, jotta maitohappobakteereilla on etu haittamikrobeihin kuten esimerkiksi klostrideihin nähden (Pahlow ym. 2003).

2.4.2 ENTSYYMIT

Entsyymisäilöntäaineiden tarkoituksena on hajottaa soluseinäaineista hemiselluloosaa ja selluloosaa vesiliukoisiksi sokereiksi maitohappobakteerien käyttöön ja siten lisätä maitohapon tuotantoa. Nämä säilöntäaineet sisältävät hemiselluloosaa ja selluloosaa hajottavia entsyymikomplekseja. Komplekseissa entsyymit toimivat ketjuina ja yhteistyössä katkoen hiilihydraatti ketjujen sidoksia ja tuottaen lopulta vesiliukoisia sokereita (Kung Jr. ym. 2003).

Painorehuun verrattuna entsyymit lisäävät maitohappokäymistä ja parantavat rehun laatua. Pienempi pH, suurempi maitohappopitoisuus sekä pienempi ammoniakki- ja voihappopitoisuus, kertovat painorehua paremmasta laadusta. Muurahaishapolla säilöttyihin rehuihin verrattuna entsyymillä säilötyt rehut ovat voimakkaammin käyneitä eli niissä on suurempina pitoisuuksina maitohappoa, muita orgaanisia happoja ja

ammoniumtyyppä (Jaakkola ym. 1990, Jaakkola ym. 1991). Puristenesteen määrä lisääntyy verrattuna painorehuun ja muurahaishapolla säilöttyyn rehuun (Jaakkola ym. 1991), mikä voi olla hyväksi rehumehun tuotantoa ajatellen, mutta etenkin märissä rehuissa lisää tappioita ja puristenesteen keruutarvetta. Puristenesteen kuiva-aine ja raakavalkuaispitoisuus ovat suurempia muurahaishapolla säilöttyyn rehuun verrattuna (Jaakkola ym. 1991), mikä on lupaavaa rehumehun tuotantoa ajatellen. Kuidun pitoisuudet rehussa pienenevät entsyymien hajotuksen seurauksena kontrollirehuun verrattuna. Rehun jäännössokerin määrä lisääntyy kontrolliin verrattuna (Jaakkola ym. 1990, Jaakkola ym. 1991).

2.4.3 MUURAHASHAPPO

Muurahaishappo on lyhytketjuisin orgaaninen happo. Muurahaishappo on maitohappoakin voimakkaampi happo. Muurahaishapon rehujen säilyvyyttä parantava vaikutus perustuu ensisijaisesti nopeaan kasvimassan pH:n laskuun, mutta muurahaishapolla on dissosioitumattomassa muodossa myös orgaanisille hapoille ominainen antimikrobinen vaikutus. Happo laskee nopeasti rehumassan pH:n heti annostelunsa jälkeen. Nopeasti saavutettu matala pH estää haittamikrobien ja kasvientsyymien toimintaa, jolloin ravintoaineiden hajoaminen rehumassassa hidastuu tai loppuu. Matala pH mahdollistaa maitohappobakteerien toiminnan rehumassassa, mutta niidenkin toiminta vähenee painorehuun verrattuna. Muurahaishappo siis rajoittaa mikrobikäymistä rehussa (McDonald ym. 1991, Kung Jr. ym. 2003).

Muurahaishappo hidastaa kasvientsyymien proteolyysiä heti annostelunsa jälkeen nopean pH:n laskun ansiosta, jolloin suurempi osa proteiineista säilyy rehussa (Carpintero ym. 1979, Winters ym. 2001). Mikrobin aiheuttama proteolyysi lähes korvaa kasvientsyymien toiminnan myöhemmin säilönnän aikana riippuen hapon annostelusta (Winters ym. 2001). Lyhyen säilöntäajan aikana muurahaishappo suojaasi proteiineja proteolyysiltä (Guo ym. 2008). Aminohappojen ja peptidien hajoaminen vähenee happosäilöntää käytettäessä, mikä on tärkeää rehun tyypellisten aineiden

käytettävyyden kannalta (Winters ym. 2001). Happosäilöntä vähentää ammoniakkin muodostumista rehussa painorehuun verrattuna.

Muurahaishappo rajoittaa rehun käymistä, jolloin rehussa on vähemmän maitohappoa kuin kontrollirehussa. Vastaavasti vesiliukoisia sokereita on enemmän. Muurahaishapon on myös todettu lisäävän puristenesteen määrää kontrolliin nähden (Jaakkola ym. 1991, Winters ym. 2001), mikä on rehumehun puristuksen kannalta hyvä asia. Puristenesteen määrän lisääntyminen liittyy hapon soluseiniä (Jaakkola ym. 1991) ja solukalvoja hajottavaan vaikutukseen (Winters ym. 2001). Etenkin säilönnän alkuvaiheessa puristenestettä muodostuu nopeammin kuin ilman säilöntäainetta tai maitohappobakteerein säilötyssä rehussa (Winters ym. 2001).

2.5 REHUMEHUN JA KIINTOJAKEEN KOOSTUMUS

Rehumehuun irtoavat säilörehun vesiliukoiset aineet, jotka eivät ole sitoutuneet soluseinäaineeseen. Runsaasti käyneissä säilörehuissa on varsin runsaasti maitohappoa ja aminohappoja liukoisessa muodossa. Rajoitetusti käyneissä rehuissa voi olla runsaasti vesiliukoisia hiilihydraatteja (McDonald ym. 1991). Nämä aineet erottuvat puristuksessa lähinnä mehuun (Novalin ja Zweckmair 2009). Vesiliukoisia hiilihydraatteja voi rehumehussa olla varsin huomattavia määriä (Thang ym. 2004), mikä on riippuvaista säilörehun vesiliukoisten hiilihydraattien pitoisuudesta. Vesiliukoisten hiilihydraattien pitoisuuteen säilörehussa vaikuttavat käymisaste ja soluseinien hajoaminen (McDonald ym. 1991) sekä raaka-aineen vesiliukoisten hiilihydraattien pitoisuus. Aminohappoja on muista orgaanisista materiaaleista puristettuihin nestejakeisiin nähden runsaasti (Novalin ja Zweckmair 2009). Kiintojake sisältää runsaasti soluseinäaineita ja näihin kiinnittyneitä tyypellisiä sekä muita huonosti liukenevia aineita. Lisäksi osa vedestä ja siihen liukenevista aineista jää aina kiintojakeeseen (McEniry ja O'Kiely 2013).

McEniry ja O'Kielyn (2013) tutkimuksessa kokeiltiin kuinka säilöntä ja säilörehun puristus vaikuttavat raiheinän, koiranheinän ja puna-apilan koostumukseen. Kiintojakeen raakavalkuaispitoisuus oli keskimäärin 66 % pienempi kuin säilörehun. Puna-apilasta erottui mehuun suurempi osuus raakavalkuaisesta kuin heinistä. Myös kiintojakeen kuiva-aineen sulavuus heikkeni puristuksessa verrattuna säilörehuun. Monilajisista laajaperäisesti viljellyistä nurmista valmistetusta säilörehusta puristusemhuun erottui tyyppistä 32 – 45 % (Wachendorf ym. 2009). Laajaperäisesti viljellyistä nurmista tehdyssä säilörehussa oli myös pienempi typpipitoisuus (Wachendorf ym. 2009) kuin tehokkaasti viljellyistä nurmista tehdyissä säilörehuissa (McEniry ja O'Kiely 2013). Tehokkaasti viljellystä nurmesta erottuu mehuun siis enemmän raakavalkuaista sekä suhteellisesti että määrällisesti kuin laajaperäisesti viljellystä nurmesta.

Kivennäisaineita rehumehu sisältää epäorgaanisina suoloina varsin huomattavia määriä (Thang ym. 2004). Kivennäisaineista erottui mehuun puristettaessa monilajisia nurmia keskimäärin kaliumista 77 %, kloorista 86 %, kalsiumista 46 %, magnesiumista 65 %, fosforista 69 % ja rikistä 74 % (Wachendorf ym. 2009).

2.6 REHUMEHUN JA KUIVAJAKEEN SOVELTUVUUS REHUksi

Pitoisuudeltaan suurimpia kuiva-aineen osia rehumehussa ovat valkuaisaineet, peptidit ja aminohapot. Valkuaistäydennykseksi rehumehu onkin ensisijaisesti tarkoitettu ja tuoreen nurmen puristusemhuun käyttöä on myös tutkittu yksimahaisten valkuaisrehuna (Braude 1976, Stødkilde ym. 2018). Samoin on tutkittu paljonkin lehtiproteiiniivisteiden tekemistä nurmimehusta ja etenkin sinimailasesta puristetusta mehusta (Pirie 1978). Säilörehumehun osalta tutkimuksia on tehty Euroopassa (Mandl 2010, Rinne ym. 2018b) ja säilörehumehun käyttöä yksimahaisten ruokinnassa on tutkittu jonkin verran (Novalin ja Zweckmair 2009, Mandl 2010, Hulkkonen 2019). Energiaa yksimahaiset eläimet voisivat saada rehumehun orgaanisista hapoista, joista tärkein on maitohappo, sekä vesiliukoisista sokereista. Muista ravintoaineista kivennäisaineita voi erottua

rehumehuun suuriakin määriä (Novalin ja Zweckmair 2009) ja kaliumpitoisuus mehussa voikin olla mehun käyttöä rajoittava tekijä sikojen ruokinnassa (Patterson ja Walker 1979, Rinne ym. 2018b).

Rajoittavana aminohappona tuoreessa rehumehussa on yksimahaisten ruokinnassa metioniini (Houseman ja Connell 1976). Rehumehu voisi siis olla hyvä mahdollisuus täydentää yksimahaisten aminohappojen saantia ja korvata ainakin osa tuontisoiijasta kotimaisella vaihtoehdolla. Säilöntä vaikuttaa aminohappokoostumukseen eikä se pysy samana kuin tuoreessa nurmessa (McDonald ym. 1991). Osa aminohapoista siis hajoaa säilönnän aikana.

Kokeiden perusteella tuoreesta nurmesta (Houseman ja Connell 1976, Stødkilde ym. 2018) ja säilörehusta (Rinne ym. 2018b, Hulkkonen 2019) puristetun mehun käyttö sikojen ruokinnassa onnistuu hyvin ja muita valkuaisen lähteitä on mahdollista mehulla korvata. Suurina annoksina sinimailasmehu kuitenkin heikensi valkuaisen käytettävyyttä. Luultavasti tämä johtui mailasan sisältämistä proteiini-inhibiittoreista kuten saponiineista (Houseman ja Connell 1976). Myös lihasikojen kivennäistarve on mahdollista säilörehumehulla täyttää (Patterson ja Walker 1979, Hulkkonen 2019), vaikkakin nurmiheinäsäilörehumehussa suuren kaliumpitoisuuden epäiltiin Rinteen ym. (2018b) tutkimuksessa aiheuttavan sioille ripulia.

Kuivajakeen huono sulavuus sekä pieni energia- ja raakavalkuaispitoisuus, jotka eivät välttämättä riitä pötsin energia- ja valkuaisstarpeisiin, rajoittavat kuivajakeen käyttöä lypsylehmien ruokinnassa. Etenkin raakavalkuaispitoisuus oli lähes kaikissa kiintojakeissa pötsille liian pieni (McEniry ja O'Kiely 2013). Damborgin ym. (2018) tekemän tarkemman kuivajakeen sulavuuden tutkimisen perusteella kuivajae soveltuisi kuitenkin erittäin hyvin jopa lypsävien lehmien rehuksi. Savosen ym. (2018) tutkimuksessa lypsävät lehmät söivät säilörehun ja kuivajakeen seosta enemmän kuin pelkkää säilörehua. Kuivajakeen lisääminen seokseen kuitenkin vähensi hieman maitotuotosta ja maidontuotannon tehokkuutta.

3 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET

Työn tavoitteena on selvittää kuinka nurmikasvilajit sekä säilöntäaineet vaikuttavat nurmisäilörehusta saatavan rehumehun määrään ja koostumukseen. Rehumehun lopullinen käyttötavoite on yksimahaisten rehuna.

Rehumehuun erottuvan kuiva-aineen ja raakavalkuaisen määrät sekä pitoisuudet ovat tärkeimmät ominaisuudet mehun rehukäytön arviointia ajatellen. Raakavalkuaisen laadulla on myös suuri vaikutus. Muista aineista maitohapon ja muiden orgaanisten happojen sekä vesiliukoisten hiilihydraattien ja kivennäisaineiden pitoisuudet vaikuttavat mehun laatuun rehuna.

Tutkimushypoteesit:

1. Puna-apilasäilörehusta saadaan enemmän rehumehua ja rehumehun kuiva-ainetta sekä raakavalkuaista rehukiloa kohden kuin heinistä valmistetusta säilörehusta.
2. Muurahaishappo- ja entsyymirehuista saadaan enemmän rehumehua ja rehumehun kuiva-ainetta sekä raakavalkuaista rehukiloa kohden kuin paino- ja ymppirehuista.

Tutkielma on osa INNOFEED-projektia, jonka toteuttavat VTT ja Luke. Projektin rahoittajina toimivat Business Finland (entinen Tekes), VTT, Luke sekä Valio, Roal, A-Rehu, Eastman, Gasum, Pirteä Porsas, Pohjolan Maito, Pellon Group ja Toholammin Kehitys Oy.

4 AINEISTO JA MENETELMÄT

Tutkimuksessa tehtiin kolme säilöntäkoetta Luonnonvarakeskuksella Jokioisilla (60° 48' N 23° 29' E) vuoden 2016 nurmista. Säilöntäaineina käytettiin vettä (kontrolli), muurahaishappoa, maitohappobakteeriympästä (MHB), entsyymiä sekä muurahaishappoa ja entsyymiä yhdessä. Ensimmäisen sadon nurmia esikuivattiin, mutta muiden satojen rehuja ei (Taulukko 1.)

Taulukko 1. Raaka-aineiden käsittely säilöntää varten.

Niitto- kerta	Niitto- päivä	Säilöntä- päivä	Esikuivatus aika, h	Kasvilajit	Säilöntäaineet
1	7.6.	7.6.	4	Timotei-nurminata	K, MH, MHB
1	7.6.	8.6.	24	Timotei-nurminata	K, MH, MHB
1	20.6.	21.6.	24	Puna-apila	K, MH, MHB
2	24.8.	24.8.	0	Timotei	K, MH, E, MH+E
2	24.8.	24.8.	0	Puna-apila	K, MH, E, MH+E
3	19.9.	19.9.	0	Timotei-nurminata	K, MH, E

K = kontrolli, MH = muurahaishappo, MHB = maitohappobakteeri, E = entsyymi

4.1 NURMEN KORJUU JA ESIKUIVATUS

Ensimmäisen sadon timotei-nurminatakasvusto kasvoi Jokioisten kartanoiden Nummelan sivutilalla. Lohkon viljelytoimet tehtiin maatilamittakaavan mukaan. Kasvusto niitettiin niittomurskaimilla karholle (JF GMS 3200 Topflex, JF-Fabriken- J Freudendahl A/S, Sonderborg, Tanska ja Krone EC 32 CV etunostolaite, Maschinefabrik Bernard Krone GmbH, Spelle, Saksa) 7.6. ja karhot yhdistettiin karhottimella (Krone KS 900, Maschinefabrik Bernard Krone GmbH, Spelle, Saksa) pian niiton jälkeen. Korjuu tapahtui tarkkuussilppurilla (JF FCT 1350, JF-Fabriken- J Freudendahl A/S, Sonderborg, Tanska). Tarkkuussilputtua rehua tuotiin perävaunulla halliin, jossa koesiilot täytettiin. Puolet siiloista täytettiin samana iltapäivänä noin neljä tuntia niiton jälkeen. Osa rehusta

jätettiin sateiseksi muuttuneen sään takia sisälle kuivumaan yöksi, jotta saataisiin kaksi eri kuiva-ainetasoa. Aamupäivällä 8.6. yön yli kuivunut rehu säilöttiin.

Ensimmäisen sadon puna-apilanurmi kasvoi Jokioisten kartanoiden Lintupajun sivutilalla. Niitto, karhotus ja korjuu tehtiin samalla kalustolla kuin timotei-nurminatakin. Kasvusto niitettiin 20.6. aamulla. Esikuivatus tehtiin pellolla. Säilöntä tehtiin 21.6. iltapäivällä.

Toisen sadon rehut tehtiin koetta varten perustetuilta puhtailta timotei- ja puna-apilakasvustokaistoilta. Nurmet korjattiin 24.8. samalla kalustolla kuin 1. sadon nurmet. Esikuivatusta ei tehty. Kasvustokaistojen kasvukauden ensimmäisestä niitosta oli kulunut 70 päivää. Kasvustoja ei lannoitettu ensimmäisen sadon korjuun jälkeen. Niittoaajankohdan aikaan sää oli sateinen.

Kolmas sato korjattiin Lintupajun II lohkolta. Lohkon viljelytoimet tehtiin maatilamittakaavan mukaan ja niitto karholle tehtiin samoilla koneilla kuin aikaisemmissa sadoissa. Karhojen yhdistämistä ei tehty. Korjuu ja säilöntä tehtiin pyöröpaalaimella (Claas Rollant 250 RL, Usines CLAAS France S.A.S., Metz, Ranska) ja säilöntäaine levitettiin paalaimen pumppuhapottimella (HP 20 pumppuhapotin, Junkkari Oy, Ylihärmä, Suomi). Paalit siirrettiin käärintään (ELHO Sideliner 1620 Automat, Ab El-Ho Oy, Pännäinen, Suomi) etukuormaintraktorilla ja perävaunulla. Käärintä tehtiin välittömästi korjuun jälkeen.

4.2 SÄILÖNTÄ

Ensimmäisen sadon timotei-nurminataraaka-aineeseen lisättiin muurahaishappoa (AIV 2 Plus, 5 l/t) ja maitohappobakteeriymppeä (SilAll 4 x 4+ 5, g/t, MHB) sekoitettuna veteen niin, että kokonaisliuosmäärä oli 75 ml (Taulukko 2). Kontrolli käsittelynä oli vettä. Rehua

punnittiin muovilaatikoihin 9 kg. Rehuja laatikkoihin punnittaessa otettiin jokaisesta laatikosta hiukan rehua erilleen yhteistä raaka-aineen analyysinäytettä varten. Tämän jälkeen 75 ml liuokset annosteltiin muovilaatikossa olevan rehun joukkoon kolmessa erässä muovipullosta reikäkorkin läpi suihkuttaen. Jokaisen säilöntäaineen lisäyksen jälkeen rehumassa sekoitettiin huolellisesti käsin. Tämän jälkeen rehua laitettiin valmiiksi punnittuihin koemittakaavan pleksisiiloihin (12 l ja halkaisijaltaan 14,2 cm) pienissä erissä (noin 4 kourallista kerrallaan) ja jokaisen lisäyksen jälkeen rehu tiivistettiin pudottaen rehumassan päälle hihnaan sidottua noin 8,2 kg:n lyijypainoa. Lyijypainot oli suojattu muovipusseilla, jotka vaihdettiin jokaisen käsittelyn jälkeen. Rehua lisättiin siiloon 6 – 8 kertaa ja jokaisen lisäyksen jälkeen lyijypainoa pudotettiin siiloon 15 kertaa. Näin yritettiin päästä mahdollisimman tasaiseen tiiviystulokseen eri siilojen välillä. Siiloihin laitettiin rehua joko 7 tai 6,5 kg. Ensimmäiset siilot täytettiin seitsemään kiloon asti, mutta kuivaa rehua ei mahtunut niin paljoa. Tästä syystä tavoitetta laskettiin 6,5 kg:aan loppuihin siiloihin. Tiivistämisen jälkeen jokainen siilo punnittiin ja paino merkittiin ylös. Rinnakkaisia käsittelyjä tehtiin kolme kappaletta ja eri henkilöt tekivät kunkin rinnakkaisista käsittelyistä. Säilöntäainetta vaihdettaessa työpisteen välineet puhdistettiin 70 %:lla etanolilla.

Ensimmäisen sadon puna-apila säilöttiin 21.6. iltapäivällä n. 13.00 alkaen. Apilan säilöntä tapahtui muuten samoin kuin timotei-nurminadan, mutta laatikkoon punnittu apilamäärä oli 10 kg. Siiloihin mahtui apilaa hiukan yli 9 kg. Säilöntäaineiden annostasot olivat samat kuin heinillä.

Toisessa sadossa käsittelyinä oli kontrolli (vesi), muurahaishappo (AIV 2 Plus), entsyymi (Flashzyme Plus) ja muurahaishappo + entsyymi. Toisen sadon säilöntä oli muutoin samanlaista kuin ensimmäisen sadon, mutta siilot olivat n. 9-litraisia. Tiivistämiseen käytettiin puista käsikäyttöistä mäntää, jonka rehuun koskeva osa oli suojattu muovipussilla. Tämä muovipussi vaihdettiin jokaisen käsittelyn välillä uuteen. Muurahaishappo + entsyymikäsittely tehtiin siten, että happo ja entsyymi levitettiin rehuun omista liuospulloistaan. Happosäilöntäaine levitettiin ja sekoitettiin hyvin

rehumassaan ennen kuin entsyymiä alettiin levittää. Näin vältettiin entsyymin toimintakyvyn tuhoutuminen hapon vaikutuksesta.

Taulukko 2. Käytetyt säilöntäaineet ja niiden tiedot.

Säilöntäaine	Valmistaja	Sisältö	Pitoisuus	Nimi	Käytetty määrä
muurahaishappo	Eastman Chemical Company, Oulu, Suomi	muurahaishappo ammoniumformiaatti	76 % 5,5 %	AIV 2 Plus	5 l/t 1. ja 2. sato 6,8 l/t 3. sato
MHB	Microbial Developments, Worcestershire, Englanti	Lactobacillus plantarum Pediococcus acidilactici Pediococcus pentosaceus Propionibacterium acidipropionici Alfa-amylaasi eristetty Bacillus amyloliquefaciens Sellulaasi eristetty Trichoderma reesei Beeta-glukanaasi eristetty Aspergillus niger Ksylanaasi eristetty Trichoderma longibrachiatum	≥1×10 ¹¹ cfu/g ≥4×10 ¹⁰ cfu/g ≥4×10 ¹⁰ cfu/g ≥2×10 ¹⁰ cfu/g ≥3600 BAU/g ≥60 CMCU/g ≥1000 IU/g ≥1500 IU/g	Sil-All 4x4+	5 g/t
Entsyymi	Roal Ltd., Rajamäki, Suomi	Hemisellulaasi Sellulaasi		Flashzyme Plus	1,1 ml/kg ka (n. 4,3 l/t)

Cfu=kolonioita tuottavia yksiköitä; BAU=bakteeri amylaasi yksikköä; CMCU=karboksimeetyli selluloosa yksikköä; IU=kansainvälistä yksikköä; ka=kuiva-aine, MHB = maitohappobakteeri

Isot siilot peitettiin asettamalla rehupatsaan päälle muovipussi ja muovipussiin laitettu pleksikansi. Kannen päälle laitettiin muovipussi, jonka päälle tuli painoiksi 8,2 kg:n painoinen lyijypaino omassa muovipussissaan ja tämän päälle kaksinkertaisessa muovipussissa 2 kg:n vesipussi. Pienten siilojen päälle laitettiin pienemmät lyijypainot ja 1 kg:n painoiset vesipussit. Siilot varastoitiin huoneenlämmössä ja suojattiin valolta jätösäkeillä peittämällä.

Kolmannen sadon säilörehut säilöttiin pyöröpaaleihin. Säilöntäaine ruiskutettiin karholle ennen noukintaa paalaimeen. Säilöntäaineina käytettiin kontrollia (vesi), muurahaishappoa (AIV 2 Plus 6,8 l/tn) ja entsyymiä (Flashzyme Plus 1,1 l/ kg ka eli n. 4,3 l/tn). Jokaista säilöntäainetta käytettiin kolmen paalin valmistuksessa.

4.3 SIILIJEN JA PAALIJEN AVAAMINEN

Siilot avattiin noin 90 päivää säilönnän alkamisesta. Siiloista poistettiin painot ja kannet. Pinnalta mitattiin mittanauhan kanssa homekerroksen paksuus. Silmämääräisesti myös koko rehupatsas arvioitiin. Pinnalta kaavittiin pilaantunut osa pois. Pilaantunutta rehua poistettiin tarvittaessa myös siilon pohjalta. Rehumassa kaavittiin ulos siilosta ja sekoitettiin hyvin. Sekoitetusta säilörehusta otettiin mikrobiologinen näyte ja näytteitä säilörehuanalyysijä varten. Loput rehuista pakastettiin puristusta varten.

Paalit avattiin 27. – 28.2.2017 eli 116 päivää korjuusta. Muovit ja verkot poistettiin. Tämän jälkeen paalit silputtiin ja sekoitettiin yksitellen seosrehuvaunussa. Jokaisesta paalista otettiin 200 kg:n erä puristuksia varten.

4.4 REHUIJEN PURISTAMINEN

Rehuja puristettiin neljällä erilaisella puristimella, jotta nähtäisiin, mikä vaikutus erilaisilla puristimilla on mehusaantoon. Puristimia olivat Luken omavalmisteinen laboratoriomittakaavan mäntäpuristin (Luke, Jokioinen, Suomi, kuva 1), laboratoriomittakaavan kaksoisruuvipuristin (Angel Juicer Ltd., Busan, Etelä-Korea), yksiruuvinen maatilamittakaavan puristin (Pellon Group Ltd., Ylihärmä, Suomi) ja kaksiruuvinen maatilamittakaavan puristin (Haarslev Industries A/S, Sønderød, Tanska).



Kuva 1. Luken omavalmisteinen mäntäpuristin ja muuta puristukseen käytettyä välineistöä.

Jokaisen siilon ja paalin rehut puristettiin Luken omavalmisteisella paineilmatoimisella mäntäpuristimella kahden minuutin ajan. Ennen puristusta kolmeen harvahkoon kangaspussiin punnittiin 150 g säilörehua jokaisen siilon rehunäytteestä. Mehu otettiin talteen ja jokaisen puristuksen mehumäärä punnittiin ja kirjattiin ylös. Saman siilon kolmen puristuksen mehusaannot yhdistettiin ja pakastettiin analyysyä varten. Samoin kiintojake otettiin talteen ja pakastettiin analyysyä varten.

Angel-puristimen eräkokoko oli 300 g säilörehua. Rehunäytettä syötettiin hitaasti mehurpuristimeen, jotta puristin kesti kuitupitoisen materiaalin aiheuttaman rasituksen. Mehun määrä punnittiin. Mehu ja kuivajake pakastettiin myöhempiä analyysyä varten.

Kolmannen sadon paaleista puristettiin jokaisesta 100 kg erä Haarslevin ja 20 kg erä Pellon puristimilla. Mehun määrä punnittiin ja siitä otettiin näyte myöhempiä analyysejä varten samoin kuin kiintojakeesta. Näytteet pakastettiin odottamaan analyysejä.

4.5 LABORATORIOANALYYSIT

Raaka-aineanalyysit

Kuiva-aine määritettiin kuivaamalla rehunäytteitä +105 °C lämpötilassa 16 h. Kemiaalisia analyysejä varten näytteitä kuivattiin 60 °C kunnes näytteet olivat kuivia. Puskurikapasiteetti määritettiin Playnen ja McDonaldin (1966) mukaan. Tuhka määritettiin AOAC:n (1990) standardimetodin 942.05 mukaan. Typpipitoisuus määritettiin Kjeldahlin menetelmällä (AOAC metodi 984.13) laitteella Foss Kjelttec 2400 Analyzer Unit (Foss Tecator AB, Höganäs, Sweden). Vesiliukoiset hiilihydraatit (sokeri) määritettiin Somogyin (1945) mukaan. NDF määritettiin Van Soestin ym. (1991) mukaan suodatinpusstekniikalla käyttäen 25 mikronin nylon pusseja (F57, ANKOM Technology) ja ANKOM 220 Fiber Analyzer laitetta (ANKOM Technology, 2052 O'Neil Road, Macedon NY 14502). *In vitro* sellulaasiliukoisuus määritettiin Huhtasen ym. (2006) mukaan.

Säilörehuanalyysit

Kuiva-aine määritettiin kuivaamalla rehunäytteitä +105 °C lämpötilassa 16 h ja korjattiin haihtuvien aineiden suhteen Huidan ym. (1986) mukaan. Kemiaalisia analyysejä varten näytteitä kuivattiin 60 °C kunnes näytteet olivat kuivia. Säilörehun pH määritettiin vesiuutteesta Mettler Toledo 345 pH-mittarilla (Mettler-Toledo AG, Schwerzenbach, Sveitsi). Ammoniumtyppi määritettiin McCulloughn (1967) mukaan UV-VIS kaksois-säde UV-1800 spektrofotometrillä (Schimadzu Co., Kioto, Japani). Typpipitoisuus määritettiin Dumasin metodilla (AOAC:n metodi 968.06) käyttäen Leco FP 428 tyypianalysaattoria (Leco Corp., St Joseph; MI 49085; USA). Etanolin määrittämisessä käytettiin kaupallista välineistöä (Cat. No. 981680; KONE Instruments Corporation, Espoo, Suomi) ja laitteena UV-VIS kaksois-säde UV-1800 spektrofotometriä. Muurahaishapon määrittämisessä

käytettiin samaa laitetta kuin etanolin määrittämisessä ja kaupallista välineistöä (Cat. No. 979 732; Boehringer Mannheim GmbH, Mannheim, Saksa). Maitohappo määritettiin Haackerin ym. (1983) mukaan UV-VIS kaksois-säde UV-1800 spektrofotometrillä ja haihtuvat rasvahapot määritettiin Huhtasen ym. (1998) mukaan kaasukromatografisesti (HP 6890, Agilent Technologies). Happodetergenttikuitu (ADF) määritettiin Roberts ja Van Soestin (1981) mukaan samoilla välineillä kuin NDF. Happodetergenttiligniini (ADL) määritettiin Fibertec™ System M Analyzer (FOSS Analytical, Tanska) laitteella AOAC:n metodin 973.18 mukaan.

Muissa määrittämisissä käytettiin samoja menetelmiä ja laitteita kuin raaka-aineiden kanssa.

Rehumehu ja kiintojäte analyysit

Analyysit tehtiin samoin menetelmin ja laittein kuin säilörehujen kohdalla. Analyysijä varten rehumehu kuitenkin pakkaskuivatettiin haihtuvien yhdisteiden haihtumisen minimoimiseksi (Christ gamma 2-20 kontrollerina LMC-2, Martin Christ Gefriertrocknungsanlagen GmbH, Osterode am Harz, Saksa).

4.6 LASKENTAKAAVAT

Raakavalkuainen laskettiin kokonaistyyppipitoisuudesta seuraavasti:

$$RV = N \text{ (g/kg ka)} * 6,25$$

Orgaanisen aineen sulavuus laskettiin Huhtasen ym. (2006) mukaan 1. ja 2. heinäsadolle sekä puna-apilalle erikseen seuraavilla kaavoilla:

1. sato heinät:

$$OMD = 0.077 + 0.86 * OMS$$

2. ja 3. sato heinät:

$$\text{OMD} = (-0,154) + 1,12 * \text{OMS}$$

Puna-apila molemmat sadot:

$$\text{OMD} = 0,003 + 0,93 * \text{OMS},$$

joissa OMS = orgaanisen aineen *in vitro*-liukoisuus ja OMD = orgaanisen aineen sulavuus.

D-arvo laskettiin orgaanisen aineen sulavuudesta seuraavasti:

$$\text{D-arvo} = (1000 - \text{tuhka (g/kg ka)}) * \text{OMD} / 1000$$

Säilöttävyyskerroin on laskettu seuraavalla kaavalla (Pahlow ym. 2002):

$$\text{SK} = \text{ka (\%)} + 8 * (\text{WSC} / \text{BC}),$$

jossa ka = kuiva-aine, WSC = vesiliukoiset hiilihydraatit (g/kg ka) ja BC = puskurikapasiteetti (g maitohappoa/kg ka)

4.7 TILASTOLLISET MENETELMÄT

Tulosten tilastollisessa analysoinnissa käytettiin SAS 9.4-ohjelmaa (SAS Inc. 2002-2012, SAS Inst., Inc., Cary, NC, Yhdysvallat). Kaikki tulokset testattiin käyttäen GLM -proseduuria. Käsittelyiden keskiarvojen eroja tarkasteltiin Tukeyn testillä kasvilajikohtaisesti. Lisäksi kontrasteja käyttäen tarkasteltiin ensimmäisen sadon puna-apila tuloksista säilöntäaineiden vaikutusta ja timotei-nurminata tuloksista eri kuivausajan ja säilöntäaineen vaikutukset sekä näiden yhdysvaikutus. Toisen sadon heinä- ja apilarehuista ja kolmannen sadon timotei-nurminatarehuista testattiin säilöntäaineen vaikutus. Ensimmäisen ja toisen sadon tuloksista testattiin lisäksi kasvilajien väliset eroavaisuudet sekä säilöntäaineen ja kasvilajin yhdysvaikutukset. Tilastoanalyysin P-arvot tulkittiin seuraavasti: $P < 0,1$ on suuntaa antava ero, $P < 0,05$ on merkitsevä ero ja $P < 0,01$ on hyvin merkitsevä ero.

Säilörehujen kuiva-ainepitoisuuden vaikutusta rehumehu- ja kuiva-ainesaantoon sekä rehumehun kuiva-ainepitoisuuteen vertailtiin pisteparvien avulla MS Excel-taulukko laskentaohjelmalla. Pisteparveen sovitettiin sitä parhaiten kuvaava regressioyhtälö.

5 TULOKSET

5.1 SÄILÖREHUJEN RAAKA-AINE

Ensimmäisen sadon raaka-aineiden kuiva-ainepitoisuus oli 285 – 298 g/kg (Taulukko 3). Toisen sadon timotein kuiva-ainepitoisuus oli 210 g/kg ja puna-apilan 129 g/kg. Kolmannen sadon heinänurmen kuiva-ainepitoisuus oli 253 g/kg. Kuitupitoisuus oli 1. sadon heinillä 537 – 563 g/kg, toisessa sadossa 592 g/kg ja kolmannessa sadossa 446 g/kg ka. Puna-apilan kuitupitoisuus oli 1. sadossa 334 g/kg ka ja toisessa sadossa 485 g/kg ka. Raakavalkuaispitoisuus heinillä vaihteli välillä 77,8 ja 152 g/kg ka ja puna-apilalla välillä 176 – 197 g/kg ka. Tuhkapitoisuus vaihteli heinillä välillä 82,1 – 105 g/kg ka ja puna-apilalla 88,5 – 101 g/kg ka.

Taulukko 3. Säilörehujen raaka-aineiden kemiallinen koostumus.

Sato	1	1	1	2	2	3
Kasvilaji	Timotei-nurminata		Puna-apila	Timotei	Puna-apila	Timotei-nurminata
Näytteenotto/säilöntä päivämäärä 2016	7.6.	8.6.	21.6.	24.8.	24.8.	19.9.
Kuiva-aine, g/kg	290	298	285	210	129	253
Puskurikapasiteetti g maitohappoa/100 g ka	6,40	6,54	10,1	4,43	11,2	-
Tuhka, g/kg ka	82,1	87,8	101	59,2	88,5	105
Raakavalkuainen, g/kg ka	97,9	103	197	77,8	176	152
Sokeri, g/kg ka	153	109	88,8	170	59,9	165
NDF, g/kg ka	537	563	334	592	485	446
<i>In vitro</i> sellulaasiliukoisuus	0,797	0,778	0,806	0,698	0,640	0,869
OAS	0,762	0,746	0,753	0,628	0,598	0,819
D-arvo, g/kg ka	700	681	677	591	545	733
sokeri g/kg	44,3	32,4	25,3	35,8	7,72	41,8

ka = kuiva-aine, NDF = neutraali detergentti kuitu, OAS = orgaanisen aineen sulavuus, D-arvo = sulavan orgaanisen aineen osuus kuiva-aineessa

5.2 SÄILÖREHUIEN KEMIALLINEN KOOSTUMUS

5.2.1 ENSIMMÄINEN SATO

Puna-apila

Maitohappobakteeriympäristö laski rehun pH:ta ja pienensi ammoniakkityypen osuutta kokonaistypestä kontrollirehuun verrattuna. Ammoniakkityypen osuus pieneni myös muurahaishapporehuun verrattuna. Maitohappobakteeriympäristörehun etanolipitoisuus oli pienempi kuin kontrollirehussa ja kontrollirehun etanolipitoisuus oli pienempi kuin muurahaishapporehulla. Rehun maitohappopitoisuus oli sekä muurahaishappo- että MHB-rehussa pienempi kuin kontrollirehussa. Molemmat säilöntäaineet pienensivät haihtuvien rasvahappojen kokonaispitoisuutta kontrollirehuun verrattuna. Molemmat säilöntäaineet pienensivät käymistuotteiden kokonaispitoisuutta kontrollirehuun verrattuna ja muurahaishappo pienensi pitoisuutta vielä MHB-rehuun verrattuna.

Timotei-nurminata

Säilöntäaineet laskivat 4 tuntia esikuivatun rehun pH:ta kontrolliin verrattuna, mutta 24 tuntia esikuivatuissa rehuissa säilöntäaine ei vaikuttanut pH:on (taulukko 4). Ammoniakkitypen osuutta kokonaistypestä säilöntäaineet pienensivät kontrollirehuun nähden vain 4 tuntia esikuivatuissa rehuissa. Kuiva-ainepitoisuus oli 4 tuntia esikuivatuissa kontrollirehuissa pienempi kuin säilöntäainekäsitellyissä rehuissa. Rehun kuiva-ainepitoisuus oli 24 tuntia esikuivatussa happorehussa suurempi kuin kontrolli- tai maitohappobakteeriympirehuissa. Esikuivatuksen pidentäminen vaikutti kaikkiin näihin arvoihin. Vuorokauden esikuivatuissa rehuissa kuiva-ainepitoisuus oli suurempi ja ammoniakkitypen osuus kokonaistypestä oli pienempi kuin 4 esikuivatuissa rehuissa.

Lyhyen esikuivatuksen timotei-nurminatarehuissa MHB-säilöntäaine suurensi sokeripitoisuutta kontrolli- ja happorehuun verrattuna. Happorehuissa oli pienempi sokeripitoisuus 24 esikuivatuissa rehuissa kuin kontrolli- ja MHB-rehuissa. Lyhyen esikuivatuksen rehuilla MHB-ymppi pienensi etanolipitoisuutta muihin säilöntäaineisiin verrattuna. Pidemmän esikuivatuksen happorehuissa etanolipitoisuus oli suurempi kontrolli- ja MHB-rehuihin verrattuna. Säilöntäaineet pienensivät rehun tuhkapitoisuutta kontrollirehuun verrattuna 4 tuntia esikuivatuissa rehuissa. Haplo pienensi tuhkapitoisuutta kontrollirehuun verrattuna pidemmän esikuivatuksen rehuissa. Pidemmän esikuivatuksen rehujen etanoli- ja sokeripitoisuus olivat pienempiä kuin lyhyemmän esikuivatuksen rehuissa. Säilöntäaineella ja esikuivatuksella oli yhteisvaikutus tuhka-, etanoli- ja sokeripitoisuuksiin.

Timotei-nurminatarehujen haihtuvien rasvahappojen pitoisuutta molemmat säilöntäaineet pienensivät kontrollirehuihin verrattuna. Käymistuotteiden pitoisuutta molemmat säilöntäaineet suurensivat kontrollirehuun verrattuna lyhyemmän esikuivatuksen rehuissa. Pidemmän esikuivatuksen happorehuissa oli pienempi käymistuotteiden pitoisuus kontrolli- ja MHB-ymppirehuihin verrattuna.

Kasvilajien erot

Kasvilajilla oli vaikutusta kaikkiin muihin säilörehun ominaisuuksiin paitsi pH:on ja maitohapon osuuteen kokonaishapoista. Apilasäilörehuissa oli suurempi tuhka- ja raakavalkuaispitoisuus sekä pienempi sokeri- ja etanolipitoisuus kuin heinäsäilörehuissa. Haihtuvien rasvahappojen ja käymistuotteiden pitoisuudet olivat apilarehuissa suurempia kuin heinäsäilörehuissa.

Taulukko 4. Ensimmäisen sadon säilörehujen kemiallinen koostumus, säilöntälaatu ja puristustulokset.

	Puna-apila					Timotei											
	24 h esikuivaus			SEM ²	P-arvo	4 h esikuivaus			24 h esikuivaus			SEM	P-arvo				
	C ¹	LAB ¹	FA ¹			C	LAB	FA	C	LAB	FA		Säilöntä- aine	Esi- kuivaus	Saine* Kuivaus	Kasvilaji	Kasvilaji x Saine
Kuiva-aine (KA), g/kg	285	279	287	2,10	0,63	261 ^D	286 ^C	287 ^C	294 ^B	298 ^B	306 ^A	1,50	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	<0,001
pH	4,30 ^A	4,22 ^B	4,27 ^{AB}	0,01	0,02	4,93 ^A	3,92 ^C	4,06 ^{BC}	4,21 ^B	4,13 ^{BC}	4,05 ^{BC}	0,06	<0,001	0,004	<0,001	0,390	<0,001
NH ₃ , g/kg N	38 ^A	26 ^B	37 ^A	0,70	<0,001	106 ^A	36 ^C	63 ^B	53 ^B	59 ^B	58 ^B	2,20	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Kemiallinen koostumus, g/kg ka																	
Tuhka	106 ^A	103 ^B	105 ^{AB}	0,70	0,07	97 ^A	87 ^C	88 ^C	91 ^B	89 ^{BC}	88 ^C	0,50	<0,001	0,06	<0,001	<0,001	<0,001
Raakavalkuainen (RV)	214 ^A	206 ^B	215 ^A	1,10	0,07	120 ^{AB}	115 ^B	117 ^B	119 ^{AB}	116 ^B	123 ^A	1,30	0,13	0,10	0,06	<0,001	0,039
Sokeri	12,3 ^B	26,1 ^A	6,7 ^B	1,79	0,12	13,2 ^{BC}	69,5 ^A	18,3 ^B	19,5 ^B	17,4 ^B	8,0 ^C	1,94	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Etanoli	3,3 ^B	2,4 ^C	13,4 ^A	0,13	<0,001	19,5 ^A	5,1 ^E	15,9 ^B	9,0 ^D	7,6 ^D	10,9 ^C	0,31	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Säilöntä- ja käymishapot, g/kg ka																	
Muurahaishappo	0,4 ^B	0,4 ^B	17,4 ^A	0,13	<0,001	0,2 ^B	0,2 ^B	15,1 ^A	0,1 ^B	0,3 ^B	14,4 ^A	0,20	<0,001	0,15	0,51	<0,001	<0,001
Maitohappo	124 ^A	111 ^B	65 ^C	1,10	<0,001	32 ^A	120 ^A	69 ^{BC}	85 ^{BC}	93 ^B	66 ^D	3,50	<0,001	0,02	<0,001	<0,001	<0,001
Etikkahappo	36,3 ^A	17,6 ^B	21,3 ^B	0,96	<0,001	7,8 ^D	8,7 ^D	19,6 ^A	16,2 ^{BC}	14,6 ^C	19,0 ^{AB}	0,70	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Propionihappo	0,40	0,40	0,40	0,02	0,53	1,0 ^A	0,3 ^B	0,4 ^B	0,3 ^B	0,3 ^B	0,3 ^B	0,10	<0,001	0,002	<0,001	0,011	<0,001
Voihappo	0,2 ^A	0,2 ^A	0,1 ^B	0,01	0,12	27,9 ^A	0,2 ^B	1,8 ^B	0,7 ^B	0,2 ^B	0,1 ^B	1,60	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Käymistuotteet ³	165 ^A	132 ^B	101 ^C	1,90	<0,001	88 ^D	134 ^A	106 ^{BC}	111 ^B	116 ^B	96 ^{CD}	2,30	<0,001	0,41	<0,001	<0,001	<0,001
Maitohappo/kokonaishapot	0,770 ^B	0,859 ^A	0,749 ^B	0,01	0,01	0,453 ^B	0,929 ^A	0,758 ^A	0,830 ^A	0,860 ^A	0,771 ^A	0,04	<0,001	0,004	<0,001	0,194	0,277
Rehumehun saanto ja koostumus																	
Mehua kg/säilörehu kg	0,223	0,221	0,216	0,01	0,55	0,190 ^A	0,191 ^A	0,169 ^A	0,115 ^B	0,119 ^B	0,108 ^B	0,01	0,45	<0,001	0,60	<0,001	0,955
KA, g/kg ka	119 ^A	130 ^B	134 ^B	3,90	0,03	101 ^B	116 ^{AB}	118 ^{AB}	113 ^{AB}	121 ^A	132 ^A	4,00	0,001	0,01	0,73	0,005	0,914
Tuhka, g/kg ka	94,3	103	107	2,10	<0,001	80,0 ^A	94,3 ^{AB}	96,0 ^B	90,0 ^{AB}	97,0 ^{AB}	107 ^B	1,48	<0,001	0,12	0,32	0,010	0,829
RV, g/kg ka	279	283	282	10,8 0	0,79	267 ^C	227 ^{ABC}	244 ^{BC}	233 ^A	249 ^{AB}	254 ^A	7,10	0,31	0,90	0,00	0,193	0,616
KA saanto mehussa	0,097 ^A	0,106 ^B	0,105 ^B	0,00	0,02	0,076 ^A	0,080 ^A	0,074 ^A	0,046 ^B	0,050 ^B	0,050 ^B	0,00	0,44	<0,001	0,62	<0,001	0,870
Tuhkasaanto mehussa	0,198	0,220	0,220	0,01	0,194	0,158 ^{BC}	0,205 ^A	0,186 ^{AB}	0,114 ^D	0,129 ^{BC}	0,131 ^{CD}	0,01	0,194	<0,001	0,06	0,659	0,761
RV saanto mehussa	0,121 ^A	0,141 ^B	0,132 ^C	0,01	0,04	0,164 ^A	0,151 ^A	0,145 ^A	0,087 ^B	0,103 ^B	0,096 ^B	0,01	0,79	<0,001	0,04	<0,001	0,942

1: C = kontrollikäsittely ilman säilöntäainetta, FA = muurahaishappopohjainen säilöntäaine (AIV 2 Plus, 5 l/t); ja LAB = maitohappobakteeri valmiste (Sil-All 4x4+, 5 g/t); 2: SEM = keskiarvon keskivirhe, 3: haihtuvat rasvahapot + maitohappo + etanoli. Eri kirjaimet keskiarvojen yhteydessä tarkoittavat merkitseviä tilastollisia eroja (P<0,05, Tukey testillä), erot on annettu erikseen timoteille (4 ja 24 tunnin esikuivaus) ja puna-apilalle.

Taulukko 5. Toisen sadon säilörehujen säilöntä- ja puristustulokset eri säilöntäaineilla¹ ja puristimilla².

	Timotei				SEM ³	P-arvo ³	Puna-apila				SEM	P-arvo	P-arvo	
	C	FA	E	E+FA			C	FA	E	E+FA			Kasvilaji	Kasvilaji x Saine
Kuiva-aine (ka), g/kg	211	208	211	206	5,80	0,843	138	140	139	137	0,9	0,297	<0,001	0,887
pH	3,77 ^B	3,93 ^A	3,78 ^B	3,85 ^{AB}	0,017	<0,001	5,49 ^A	4,07 ^C	4,36 ^B	3,95 ^C	0,027	<0,001	<0,001	<0,001
NH ₃ , g/kg N	60 ^B	84 ^A	63 ^B	82 ^A	3,40	0,002	113 ^A	95 ^B	94 ^B	83 ^B	3	0,001	<0,001	<0,001
Kemiallinen koostumus, g/kg ka														
Tuhka	69	69	70	69	0,9	0,72	101 ^a	88 ^b	96 ^a	90 ^b	1,20	<0,001	<0,001	<0,001
Raakavalkuainen (RV)	84	93	89	92	2,80	0,175	191 ^a	181 ^b	192 ^a	182 ^b	1,80	0,005	<0,001	0,002
Sokeri	33,3 ^A	17,6 ^B	30,1 ^{AB}	16,9 ^B	3,20	0,009	3,0 ^C	14,0 ^B	2,6 ^C	16,4 ^A	0,46	<0,001	<0,001	<0,001
Etanoli	49,8 ^B	61,4 ^{AB}	58,7 ^{AB}	71,6 ^A	4,15	0,036	39,8 ^A	12,0 ^C	12,7 ^C	17,6 ^B	0,81	<0,001	<0,001	<0,001
Säilöntä- ja käymishapot, g/kg ka														
Muurahaishappo	0,1 ^B	12,3 ^A	0,2 ^B	10,0 ^A	0,57	<0,001	4,5 ^B	33,7 ^A	1,1 ^B	31,7 ^A	1,48	<0,001	<0,001	<0,001
Maitohappo	105 ^A	53 ^B	100 ^A	60 ^B	4,40	<0,001	2 ^B	21 ^{AB}	56 ^A	21 ^{AB}	10,80	0,041	<0,001	0,002
Etikkahappo	19,50	20,00	17,30	20,40	1,55	0,515	70,1 ^A	17,4 ^C	60,8 ^B	17,5 ^C	0,51	<0,001	<0,001	<0,001
Propionihappo	0,5 ^B	1,0 ^A	0,5 ^B	1,0 ^A	0,016	<0,001	6,3 ^B	1,4 ^C	9,1 ^A	1 ^C	0,28	<0,001	<0,001	<0,001
Voihappo	0	0	0	0	-	-	1,70	1,40	0,2	0	0,57	0,17	0,010	0,132
Rehumehun saanto ja koostumus														
Rehumehu kg/säilörehu kg (Angel)	0,623	0,61	0,637	0,643	0,0096	0,145	0,7	0,697	0,671	0,707	0,0081	0,061	<0,001	0,046
Rehumehu kg/säilörehu kg (LUKE)	0,355	0,336	0,362	0,384	0,0107	0,071	0,479	0,488	0,467	0,492	0,0154	0,678	<0,001	0,292
ka, g/kg (Angel)	78,4	70,8	78,5	71,5	2,39	0,087	51,5 ^A	61,8 ^B	63,0 ^{BC}	64,8 ^C	0,63	<0,001	<0,001	<0,001
ka, g/kg (LUKE)	58,9	52,8	57,3	55,8	1,39	0,068	33,5 ^A	41,4 ^B	42,8 ^B	48,4 ^C	0,87	<0,001	<0,001	<0,001
Tuhka, g/kg ka (Angel)	117	148	169	179	18,20	0,158	243	227	195	179	16,80	0,098	<0,001	0,012
Tuhka, g/kg ka (LUKE)	147	169	150	155	10,10	0,441	282 ^A	175 ^B	254 ^A	221 ^{AB}	18,10	0,015	<0,001	0,003
RV, g/kg ka (Angel)	112	117	119	118	3,40	0,499	186 ^A	158 ^B	188 ^A	162 ^B	3,10	<0,001	<0,001	<0,001
RV, g/kg ka (LUKE)	84	85	87	84	2,80	0,785	121 ^A	98 ^B	110 ^C	99 ^B	1,10	<0,001	<0,001	<0,001
ka saanto rehumehuun (Angel)	0,261 ^{AB}	0,232 ^A	0,292 ^B	0,259 ^{AB}	0,0119	0,045	0,279 ^A	0,330 ^A	0,322 ^A	0,362 ^B	0,012	0,008	<0,001	0,003
ka saanto rehumehuun (LUKE)	0,100	0,092	0,112	0,122	0,0082	0,128	0,115 ^A	0,142 ^{AB}	0,130 ^{AB}	0,181 ^B	0,0133	0,041	-	-

1: C = kontrollirehu ilman säilöntäainetta, FA = muurahaishappopohjainen säilöntäaine (AIV 2 Plus), E = entsyymi säilöntäaine ja E+FA = entsyymi ja muurahaishappo säilöntäaineina; 2: Angel = kaksoisruuvipuristin ja LUKE = mäntäpuristin; 3: SEM = keskiarvon keskivirhe. Eri kirjaimet keskiarvojen yhteydessä tarkoittavat merkitseviä tilastollisia eroja (P<0,05, Tukey testillä), erot on annettu erikseen timoteille ja puna-apilalle.

Taulukko 6. Kolmannen sadon säilörehujen kemiallinen koostumus.

Säilöntäaine	Kontrolli	Happo	Entsyymi	SEM	P-arvo
Kuiva-aine, g/kg	235 ^A	265 ^B	243 ^C	1,66	<0,001
pH	4,76	4,51	4,82	0,06	0,02
NH ₃ , g/kg N	83,7 ^A	50,3 ^B	82,0 ^A	4,11	0,002
Kemiallinen koostumus, g/kg ka					
Tuhka	109	113	112	2,55	0,70
Raakavalkuainen	168 ^A	142 ^B	161 ^A	3,61	0,01
Sokeri	82,5 ^A	161 ^B	88,7 ^A	5,33	<0,001
Etanoli	29,0 ^A	7,67 ^B	28,7 ^A	1,85	<0,001
Säilöntä- käymishapot, g/kg ka					
Muurahaishappo	0,00	24,2	0,00		
Maitohappo	65,6 ^A	8,23 ^B	60,5 ^A	2,50	<0,001
Etikkahappo	13,5 ^A	4,80 ^B	12,4 ^A	0,44	<0,001
Propionihappo	0,68	0,64	0,62	0,03	0,30
Voihappo	0,41	0,33	0,39	0,02	0,07
VFA yhteensä	14,9 ^A	6,02 ^B	13,9 ^A	0,41	<0,001
C4 - C6 rasvahapot	0,26	0,25	0,49		
Hapot yhteensä	80,5 ^A	38,4 ^B	74,4 ^A	2,80	<0,001
Käymistuotteet yhteensä	109	46,1	103		
Maitohappo/kokonaishapot	0,81	0,21	0,81		
Kuitujakeet ja liukoisuus, g/kg ka					
NDF	445	460	448	5,60	0,21
ADF	252	251	256	3,62	0,57
ADL	28,6 ^A	31,7 ^{AB}	33,8 ^B	0,75	0,01
In vitro-sellulaasi liukoisuus	800	803	796	4,95	0,60

NH₃ = ammoniumtyppi, VFA = haihtuvat rasvahapot, C4 - C6 = rasvahapon hiiliketjun pituus, NDF = neutraali detergentti kuitu, ADF = happo detergentti kuitu, ADL = happo detergentti ligniini

Eri kirjaimet keskiarvojen yhteydessä tarkoittavat merkitseviä tilastollisia eroja (P<0,05, Tukey testillä).

Taulukko 7. Kolmannen sadon kiintojakeen kemiallinen koostumus.

	Haarslev					Pellon					Angel					LUKE				
	Kontrolli	Happo	Ent- syymi	SEM	P- arvo	Kontrolli	Happo	Ent- syymi	SEM	P- arvo	Kontrolli	Happo	Ent- syymi	SEM	P- arvo	Kontrolli	Happo	Ent- syymi	SEM	P- arvo
Kuiva-aine, g/kg	402	426	394	7,51	0,053	292 ^A	306 ^B	295 ^{AB}	2,73	0,021	503	500	490	8,12	0,536	324	311	315	22,5	0,921
Kemiallinen koostumus, g/kg ka																				
Tuhka	85,2	91,7	92,9	2,67	0,175	98,5	105	101	2,68	0,271	80,8	87,1	77,7	2,59	0,103	98,7 ^A	111 ^B	106 ^{AB}	2,34	0,025
Raakavalkuainen	143	136	128	3,89	0,088	156 ^A	142 ^{BC}	147 ^{AC}	2,99	0,048	87,1 ^A	105 ^B	85,3 ^A	2,76	0,009	146	172	145	9,16	0,129
Kuitujakeet, g/kg ka																				
NDF	581	588	583	5,97	0,705	506	491	507	8,17	0,374										
ADF	330	323	336	3,90	0,164															
ADL	37,9	35,8	38,3	2,63	0,789															

NDF = neutraali detergentti kuitu, ADF = happo detergentti kuitu, ADL = happo detergentti ligniini

Eri kirjaimet keskiarvojen yhteydessä tarkoittavat merkitseviä tilastollisia eroja ($P < 0,05$, Tukey testillä)

Taulukko 8. Säilörehujen säilönnällinen laatu.

Sato	Kasvilaji	Säilöntäaine	Säilönnällinen laatu (DLG 2006)	Säilönnällinen laatu (MMM 1999)
1	Timotei-nurminata 4 h	Kontrolli	erittäin huono	huono
1	Timotei-nurminata 4 h	Happo	erittäin hyvä	hyvä
1	Timotei-nurminata 4 h	MHB	erittäin hyvä	tydyttävä
1	Timotei-nurminata 24 h	Kontrolli	erittäin hyvä	hyvä
1	Timotei-nurminata 24 h	Happo	erittäin hyvä	hyvä
1	Timotei-nurminata 24 h	MHB	erittäin hyvä	tydyttävä
1	Puna-apila	Kontrolli	hyvä	huono
1	Puna-apila	Happo	erittäin hyvä	huono
1	Puna-apila	MHB	erittäin hyvä	huono
2	Timotei	Kontrolli	erittäin hyvä	hyvä
2	Timotei	Happo	erittäin hyvä	tydyttävä
2	Timotei	Entsyymi	erittäin hyvä	hyvä
2	Timotei	Entsyymi+happo	erittäin hyvä	tydyttävä
2	Puna-apila	Kontrolli	erittäin huono	huono
2	Puna-apila	Happo	erittäin hyvä	tydyttävä
2	Puna-apila	Entsyymi	huono	huono
2	Puna-apila	Entsyymi+happo	erittäin hyvä	tydyttävä
3	Timotei-nurminata	Kontrolli	hyvä	huono
3	Timotei-nurminata	Happo	hyvä	huono
3	Timotei-nurminata	Entsyymi	hyvä	huono

MHB= maitohappobakteeri valmiste

5.2.2 TOINEN SATO

Timotei

Kaikkien rehujen pH oli alle 4 (taulukko 5). Happosäilötyissä rehuissa oli pienempi sokeripitoisuus kuin kontrolli- ja entsyymirehuissa. Ammonniakkitypen osuus kokonaistypestä oli happosäilötyissä rehuissa suurempi kuin kontrolli- tai entsyymirehuissa. Happosäilöntäainerehuissa oli pienempi maitohappopitoisuus verrattuna muihin käsittelyihin. Heinärehuissa ei ollut eroa kontrolli- ja entsyymirehujen maitohappopitoisuudessa. Etanolipitoisuus vaihteli välillä 49,8 – 71,6 g/kg ka ja happo+entsyymirehussa oli suurempi etanolipitoisuus kuin kontrollirehussa.

Puna-apila

Happorehuissa oli pienempi pH sekä tuhka- ja raakavalkuaispitoisuus kuin kontrolli- ja entsyymirehuissa. Muurahaisapporehujen sokeripitoisuus oli suurempi verrattuna entsyymi- ja kontrollirehuihin. Säilöntäaineet pienensivät etanolin pitoisuutta kontrollirehuun verrattuna. Kaikissa säilöntäainekäsitellyissä rehuissa ammoniumtypen osuus oli pienempi kuin kontrollirhussa. Entsyymirehussa oli enemmän maitohappoa kuin kontrollirehussa.

Kasvilajien erot

Kasvilaji vaikutti kaikkiin säilörehujen ominaisuuksiin. Puna-apilarehujen kuiva-aine-, etanoli- ja sokeripitoisuudet olivat pienempiä kuin timoteisäilörehuissaa. Ammoniakkitypen osuus kokonaistypestä oli suurempi ja pH korkeampi apilarehuissa kuin heinärehuissa. Tuhka- ja raakavalkuaispitoisuus oli apilarehuilla suurempi kuin timoteirehuilla. Muurahaishappopitoisuus oli suurempi ja maitohappopitoisuus pienempi puna-apilasäilörehuilla kuin heinärehuilla. Etikka-, propioni- ja voihiappopitoisuudet olivat apilasäilörehuissa suurempia kuin heinäsäilörehuissa.

5.2.3 KOLMAS SATO

Muurahaishapporehussa oli pienempi pH kuin entsyymi- ja kontrollirehuissa (taulukko 6). Muurahaishapporehussa oli suurempi sokeripitoisuus, mutta pienempi ammoniakkitypen osuus, maito- ja etikkahappo- sekä etanolipitoisuus verrattuna muihin kontrolli- ja entsyymirehuihin. Happorehussa kokonaishappojen ja käymistuotteiden pitoisuus oli pienempi kuin entsyymi- tai kontrollirehussa.

Taulukko 9. Kolmannen sadon rehumehun puristustulokset laboratoriomittakaavan puristimilla.

	Angel					LUKE				
	Kontrolli	Happo	Entsyymi	SEM	P-arvo	Kontrolli	Happo	Entsyymi	SEM	P-arvo
Rehumehu										
kg/säilörehu kg	0,595 ^A	0,546 ^B	0,596 ^A	0,01	0,008	0,308 ^A	0,248 ^B	0,308 ^A	0,01	<0,001
Kuiva-aine, g/kg	129 ^A	139 ^B	134 ^{AB}	1,77	0,020	105 ^A	108 ^{AB}	108 ^B	0,79	0,037
Kemiallinen koostumus, g/kg ka										
Tuhka	169	181	171	5,18	0,287	177	193	183	5,44	0,181
Raakavalkuainen (RV)	265 ^A	187 ^B	250 ^C	2,76	0,009	271 ^A	185 ^B	256 ^C	3,06	<0,001
Kuiva-ainejakeiden saannot mehuun, kg/kg										
Kuiva-aine saanto	0,274 ^A	0,251 ^B	0,288 ^A	0,00	0,004	0,126 ^{AB}	0,103 ^A	0,134 ^B	0,01	0,023
RV saanto	0,534 ^A	0,375 ^B	0,537 ^A	0,01	<0,001	0,212 ^A	0,111 ^B	0,215 ^A	0,01	<0,001
Tuhka saanto	0,754	0,715	0,765	0,01	0,050	0,443 ^A	0,363 ^B	0,435 ^A	0,01	0,012

Eri kirjaimet keskiarvojen yhteydessä tarkoittavat merkitseviä tilastollisia eroja ($P < 0,05$, Tukey testillä).

Taulukko 10. Kolmannen sadon rehumehun puristustulokset maatilamittakaavan puristimilla.

	Haarslev					Pellon				
	Kontrolli	Happo	Entsyymi	SEM	P-arvo	Kontrolli	Happo	Entsyymi	SEM	P-arvo
Rehumehu kg/säilö-rehu kg	0,564	0,580	0,539	0,02	0,505	0,288 ^A	0,229 ^B	0,282 ^A	0,01	0,006
Kuiva-aine, g kg	113	115	116	1,33	0,451	115	118	118	1,07	0,282
NH ₃ g/kg N	99,1	86,9	98,7	3,74	0,102	96,3	86,6	101	3,74	0,086
Kemiallinen koostumus, g/kg ka										
Tuhka	183	191	183	2,72	0,126	177	183	172	5,96	0,462
Raakavalkuainen (RV)	270 ^A	188 ^B	259 ^A	3,49	<0,001	270 ^A	190 ^B	262 ^A	3,87	<0,001
Sokeri	20,6 ^A	45,9 ^B	23,4 ^C	1,62	<0,001	21,0 ^A	49,5 ^B	23,4 ^A	1,49	<0,001
Etanoli	3,90 ^A	1,17 ^B	4,00 ^A	0,23	<0,001	4,07 ^A	1,23 ^B	4,03 ^A	0,26	<0,001
Säilöntä- käymishapot, g/kg ka										
Maitohappo	18,4 ^A	2,60 ^B	18,3 ^A	0,53	<0,001	19,6 ^A	2,87 ^B	18,5 ^A	0,64	<0,001
Etikkahappo	3,68 ^A	1,71 ^B	3,56 ^A	0,10	<0,001	3,63 ^A	1,75 ^B	3,59 ^A	0,08	<0,001
Propionihappo	0,027 ^A	0,047 ^B	0,017 ^A	0,00	0,002	0,033 ^{AB}	0,050 ^B	0,023 ^A	0,01	0,036
Voihappo	0,090	0,080	0,070	0,01	0,244	0,097	0,077	0,083	0,01	0,118
Kuiva-ainejakeiden saannot mehuun, kg/kg										
Kuiva-aine saanto	0,268	0,274	0,256	0,02	0,758	0,138 ^A	0,102 ^B	0,136 ^A	0,00	0,002
RV saanto	0,408	0,342	0,411	0,02	0,087	0,218 ^A	0,133 ^B	0,218 ^A	0,01	<0,001
Tuhka saanto	0,734	0,742	0,698	0,02	0,358	0,420 ^A	0,341 ^B	0,400 ^A	0,01	0,011

Eri kirjaimet keskiarvojen yhteydessä tarkoittavat merkitseviä tilastollisia eroja ($P < 0,05$, Tukey testillä).

5.3 PURISTUSTULOKSET

5.3.1 ENSIMMÄINEN SATO

Puna-apilarehuissa säilöntäaineet paransivat mehun kuiva-ainesaantoa sekä kuiva-aine- ja raakavalkuaispitoisuutta rehumehussa kontrolliin verrattuna (taulukko 4). Säilöntäaineella ei ollut vaikutusta timotei- tai puna-apilasäilörehujen rehumehusaantoon, mutta esikuivatuksella oli. Pitkään esikuivatun heinäsäilörehun mehusaanto oli pienempi kuin lyhemmän aikaa kuivatun. Rehumehun kuiva-ainepitoisuutta säilöntäaineet nostivat kontrolliin verrattuna ja muurahaishappo enemmän kuin MHB-ymppi. Myös pidempi esikuivatus lisäsi mehun kuiva-ainepitoisuutta lyhempään kuivatukseen verrattuna. Kuiva-ainesaanto rehumehussa oli timoteilla todella pieni, keskimäärin 0,06 kg/säilörehun kuiva-aine kg. Esikuivatuksen lisääminen vähensi kuiva-ainesaantoa mehussa.

Säilöntäaineilla tai kuivatuksella ei yksinään ollut vaikutusta mehun raakavalkuaispitoisuuteen, mutta yhteisvaikutus niillä oli. Suurin raakavalkuaispitoisuus oli lyhyen kuivauksen heinäkontrollirehussa ja pienin puolestaan pitkän kuivauksen heinäkontrollissa. Raakavalkuaissaanto rehumehuun oli suurempi lyhyen esikuivatuksen kuin pitkän esikuivatuksen rehuissa. Kasvilajilla oli vaikutusta kaikkiin muihin rehumehun ominaisuuksiin paitsi tuhkaantoon ja raakavalkuaispitoisuuteen. Puna-apilan rehumehusaannot ja -pitoisuudet olivat muutoin heiniä suurempia.

5.3.2 TOINEN SATO

Timotein kohdalla säilöntäaine vaikutti ainoastaan rehumehun kuiva-ainesaantoon käytettäessä Angel-puristinta (taulukko 5). Yksin käytettynä entsyymisäilöntäaine lisäsi kuiva-ainesaantoa muurahaishappoon verrattuna.

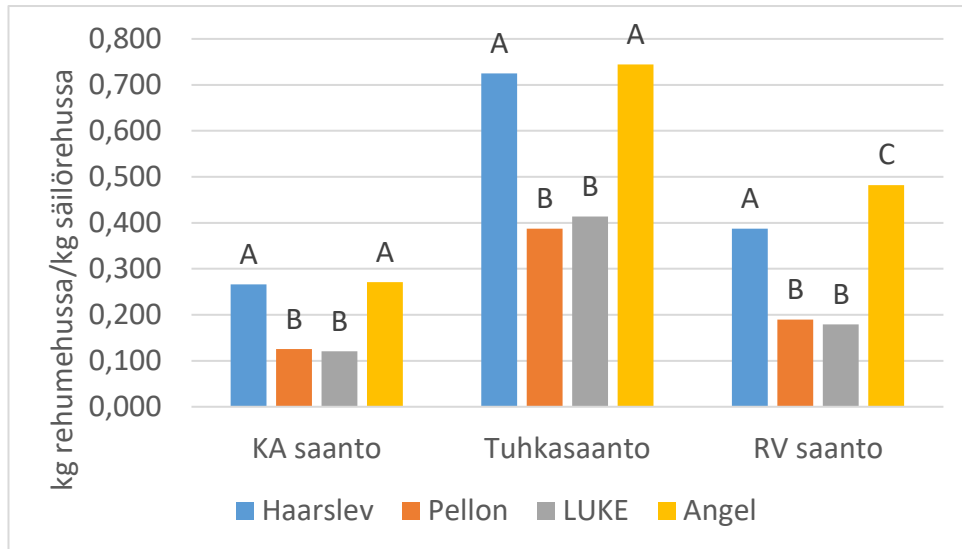
Puna-apilan kohdalla eroja oli enemmänkin. Kontrollirehusta puristetun mehun kuiva-ainepitoisuus oli pienin molemmilla puristimilla ja suurin kuiva-ainepitoisuus oli entsyymin ja hapon seoksella säilötyissä rehuissa. Kuiva-aineen saanto oli suurempi entsyymin ja hapon seoksella säilötyssä rehussa verrattuna muihin säilöntäainekäsittelyihin Angel-

puristinta käytettäessä ja Luken puristimella kontrolliin verrattuna. Yksinään käytettynä muurahaishappo vähensi mehun tuhkapitoisuutta entsyymi- ja kontrollirehuihin verrattuna Luken puristinta käytettäessä. Muurahaishappokäsittelyt pienensivät mehun raakavalkuaispitoisuutta kontrolli- ja entsyymirehuihin verrattuna.

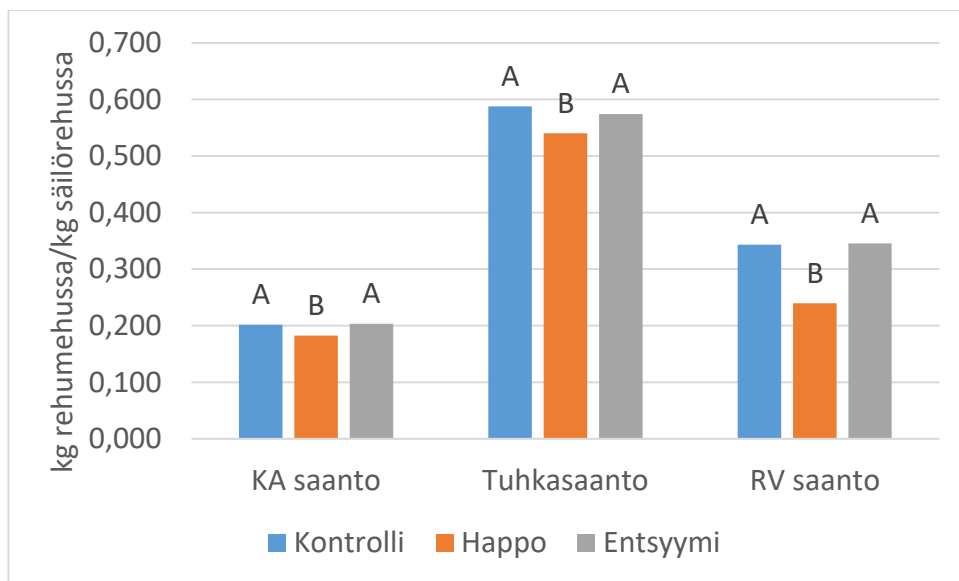
Kasvilaji vaikutti kaikkiin puristustuloksiin. Puna-apilarehusta puristui enemmän mehua kuin timoteirehusta. Timoteirehun raakavalkuaissaanto oli puna-apilarehua suurempi. Timoteirehun kuiva-ainepitoisuus rehumehussa oli puna-apilarehua suurempi, mutta tuhka- ja raakavalkuaissaannot olivat pienemmät.

5.3.3 KOLMAS SATO

Kolmannen sadon puristusten perusteella Haarslev- ja Angel-puristimet olivat selvästi kahta muuta puristinta tehokkaampia erottamaan nestettä, kuiva-ainetta, tuhkaa ja raakavalkuaista säilörehusta (taulukot 9 ja 10 sekä kuvat 2 ja 3). Kaikkia puristimia käytettäessä rehumehun raakavalkuaispitoisuus jäi pienimmäksi happorehua puristettaessa. Haposäilöntäaine pienensi myös rehumehun kuiva-aine-, tuhka- ja raakavalkuaissaantoa verrattuna entsyymi- ja kontrollirehuun. Lisäksi haposäilöntäaine pienensi rehumehun osuutta puristuksessa verrattuna entsyymi- ja kontrollirehuun Luke-, Angel- ja Pellon-puristimilla. Haposäilöntäaine lisäsi sokerin ja pienensi käymishappojen pitoisuutta rehumehussa kontrolli- ja entsyymirehuun verrattuna.



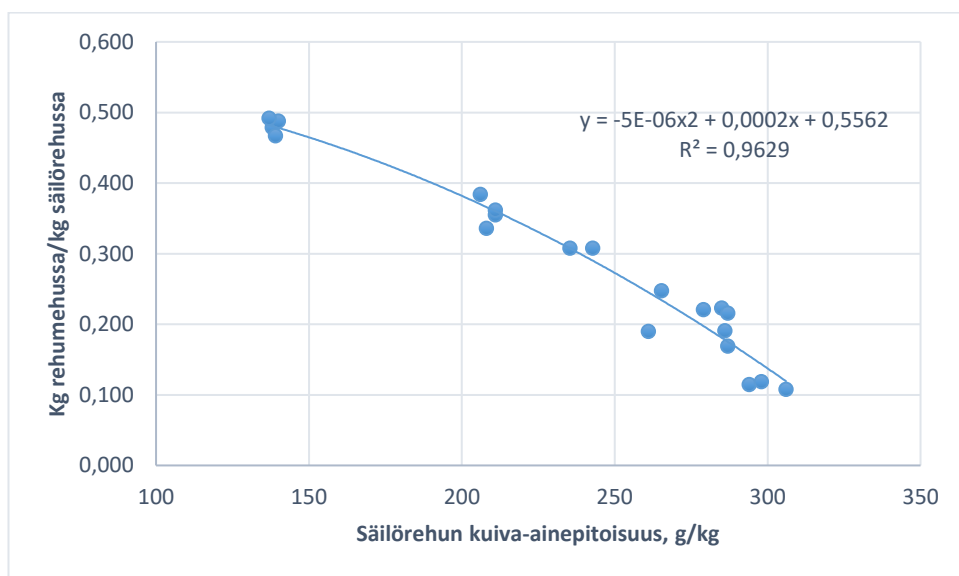
Kuva 2. Eri puristimien vaikutus mehun kuiva-aineen (KA), tuhkan ja raakavalkuaisen (RV) saantoon, 3. sato. Eri kirjaimet pylväiden päällä kertovat tilastollisista eroista puristinten välillä ($P < 0,05$). KA saannon keskiarvon keskivirhe (SEM) oli 0,005, Tuhkasaannon SEM 0,009 ja RV saannon SEM 0,008.



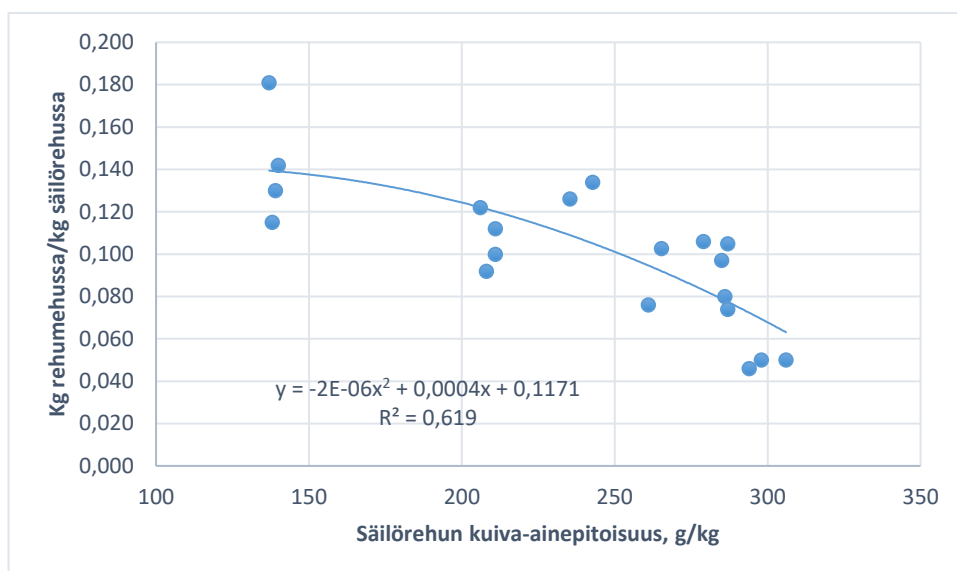
Kuva 3. Eri säilöntäaineiden vaikutus mehun kuiva-aineen (KA), tuhkan ja raakavalkuaisen (RV) saantoon, 3. sato. Eri kirjaimet pylväiden päällä kertovat tilastollisista eroista säilöntäaineiden välillä ($P < 0,05$). KA saannon keskiarvon keskivirhe (SEM) oli 0,005, Tuhkasaannon SEM 0,008 ja RV saannon SEM 0,007.

5.3.4 SÄILÖREHUN KUIVA-AINEPITOISUUDEN VAIKUTUS PURISTUKSIIN JA LASKENNALLINEN HEHTAARIKOHTAINEN RAAKAVALKUAISSATO

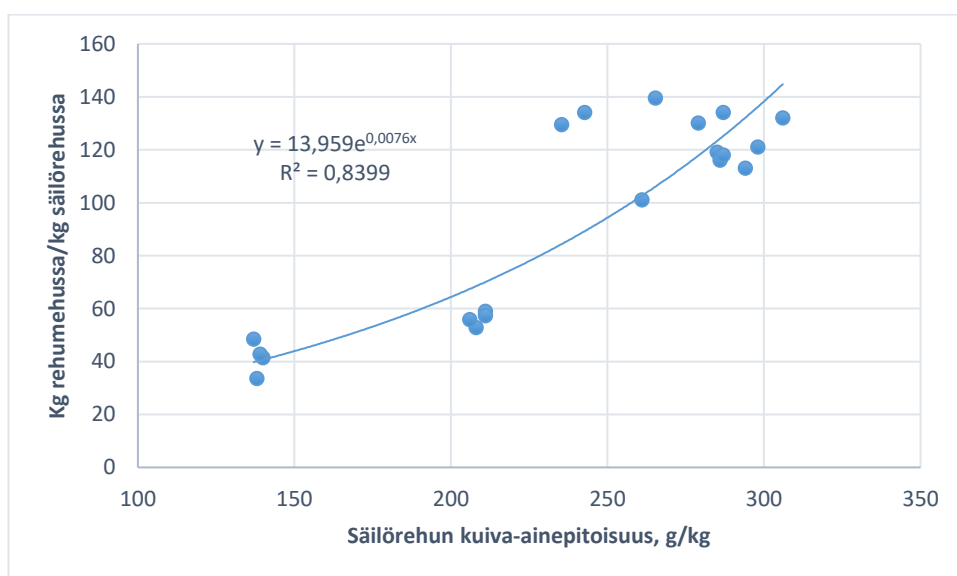
Säilörehun kuiva-ainepitoisuuden lisääntyessä rehumehun kuiva-ainepitoisuus nousi, mutta rehumehun kuiva-ainesäntö ja mehun kokonaissaanto molemmat pienentyivät (Kuvat 4, 5, ja 6). Mehusaannon noustessa myös kuiva-aineen säntö rehumehussa nousi.



Kuva 4. Säilörehun kuiva-ainepitoisuuden vaikutus mehusaantoon, kaikki sadot ja säilöntäaineet, Luken puristin.



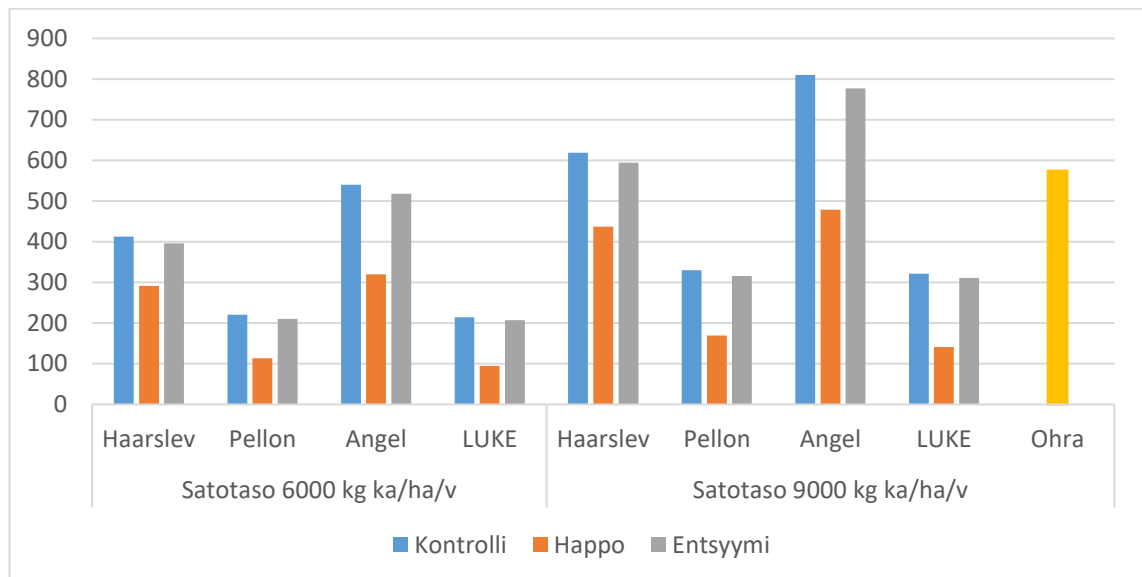
Kuva 5. Säilörehun KA-pitoisuuden vaikutus kuiva-aineen saantoon mehussa, kaikki sadot ja säilöntäaineet, Luken puristin.



Kuva 6. Säilörehun kuiva-ainepitoisuuden vaikutus mehun kuiva-ainepitoisuuteen, kaikki sadot ja säilöntäaineet, LUKE:n puristin.

Puristimella ja säilöntäaineella oli huomattavat erot raakavalkuaisen hehtaarikohtaiseen saantoon rehumehussa (kuva 7). Kaksoisruuvipuristimilla raakavalkuaisen hehtaarikohtainen sato oli kaksinkertainen yksiruuviseen ja mäntäpuristimeen verrattuna. Parhaimman hehtaarikohtaisen raakavalkuaissadon antoi painorehu.

Entsyymi pääsi lähes samaan tulokseen painorehun kanssa, mutta muurahaishapporehun raakavalkuaissato rehumehussa jäi puoleen muista säilöntäaineista.



Kuva 7. Rehumehussa raakavalkuaista eri puristimilla ja säilöntäaineilla kg/ha/v, 3. sato, laskennallinen. Ohran raakavalkuaissato on laskennallinen oletuksilla satotaso 5000 kg ka/ha ja raakavalkuaispitoisuus 115 g/kg ka (Rinne 2017).

5.4 KIINTOJAE

Kolmannen sadon kiintojakeen kuiva-ainepitoisuus oli suurempi kuin säilörehujen. Etenkin kaksoisruuvipuristimilla kiintojakeen kuiva-ainepitoisuus nousi runsaasti. Säilöntäaineella oli vaikutusta kiintojakeen kuiva-ainepitoisuuteen vain Pellon-puristimella. Tuhkapitoisuus laski hieman säilörehuun verrattuna ja kaksoisruuvipuristimilla enemmän kuin muilla puristimilla. Säilöntäaine vaikutti kiintojakeen tuhkapitoisuuteen vain Luken-puristimella ja säilöntäaineet lisäsivät kiintojakeen tuhkapitoisuutta, happo entsyymiä enemmän. Kiintojakeen raakavalkuaispitoisuuteen säilöntäaineilla oli vaikutusta Angel- ja Pellon-puristimien

kohdalla. Happo lisäsi näillä puristimilla kiintojakeen raakavalkuaispitoisuutta verrattuna muihin säilöntäaineisiin.

Haarslev- ja Pellon-puristimien kiintojakeen NDF-pitoisuus nousi verrattuna säilörehuun ennen puristusta. Haarslev-puristimen kiintojakeen kohdalla myös ADF- ja ADL-kuitujakeiden pitoisuudet nousivat säilörehuun verrattuna. Säilöntäaineilla ei ollut vaikutusta kiintojakeen kuitujakeiden pitoisuuksiin.

6 TULOSTEN TARKASTELU

6.1 SÄILÖREHUJEN RAAKA-AINE

Säilörehujen raaka-aineet olivat varsin vaihtelevia. Vaihtelua aiheuttivat erilaiset korjuuolosuhteet, lannoitusmäärät sekä kasvilajien väliset erot ja niittokerta. Ensimmäisessä ja toisessa sadossa puna-apilan raakavalkuais- ja tuhkapitoisuus oli suurempi kuin heinien, mikä on tyypillistä (Halling ym. 2002, Huhtanen ym. 2006, Luke 2018). Heinät sisälsivät puolestaan enemmän, kuten yleensä, vesiliukoisia hiilihydraatteja (Halling ym. 2002) ja NDF-kuitua (Halling ym. 2002, Huhtanen ym. 2006, Luke 2018) kuin puna-apila.

Ensimmäisessä sadossa puna-apilan ja timotei-nurminadan D-arvot olivat 677 – 700 eli hiukan suurempia kuin suomalaisissa säilörehuissa keskimäärin (Huhtanen ym. 2006, Salo ym. 2014). Molemmilla lajeilla toisen sadon D-arvo jäi kevätsatoa paljon huonommaksi ja puna-apila oli toisessa sadossa hiukan timotei-nurminataa huonommin sulavaa. Kasvustojen lannoittamattomuus ja myöhäinen korjuuajankohta selittävät heikkoa sulavuutta. Molemmilla kasvilajeilla NDF-pitoisuus oli toisessa sadossa ensimmäistä pienempi, mikä on yleistä (Huhtanen ym. 2006). Kolmannannen sadon heinänurmen D-arvo oli 733 eli huomattavan suuri (Huhtanen ym. 2006, Salo ym. 2014). Kolmannen sadon NDF-pitoisuus oli muiden satojen heiniä pienempi.

Ensimmäisen sadon heinäurmien tuhka- ja raakavalkuaispitoisuudet olivat lähellä lannoittamattomien kasvustojen pitoisuuksia LEGSIL-projektissa (Halling ym. 2002). Suomalaisiin rehutaulukoihin (Luke 2018) verrattuna 1. sadon heinien tuhkapitoisuus oli keskimääräinen, mutta raakavalkuaispitoisuus pieni. Toisen sadon timoteikasvustojen raakavalkuais- ja tuhkapitoisuudet olivat pienempiä kuin lannoittamattoman nurmikasvuston vastaavat pitoisuudet LEGSIL-projektissa (Halling ym. 2002) ja suomalaisten rehutaulukoiden arvoihin nähden pitoisuudet olivat paljon pienemmät (Luke 2018), mikä selittyy kasvuston lannoittamattomuudella 1. sadon jälkeen. Kolmannen sadon heinäurmikasvustojen tuhka- ja raakavalkuaispitoisuudet olivat suuria (Halling ym. 2002, Huhtanen ym. 2006). Rehutaulukoihin verrattuna tuhkapitoisuus oli keskimääräinen ja raakavalkuaispitoisuus oli pieni (Luke 2018). Kasvustojen tuhka- ja raakavalkuaispitoisuudet selittyvät pääasiassa maaperästä kasvien käytettäväksi tulevien ravinteiden määrällä ja kuiva-ainesadon muodostumisen määrällä, joten ne vaihtelevat huomattavasti olosuhteista riippuen, kuten tämäkin aineisto osoittaa.

Heinien sokeripitoisuus oli kaikissa sadoissa suuri. Hallingin ym. (2002) tutkimuksessa heinien keskimääräinen sokeripitoisuus oli Pohjois-Euroopassa 124 ja 112 g/kg ka lannoittamattomassa ja lannoitetussa heinäurmessa. Blomqvistin (2010) tekemässä meta-analyysissä kotimaisten säilöntäkokeiden nurmisäilörehujen raaka-aineiden sokeripitoisuus vaihteli välillä 65 – 158 g/kg ka. Nykyisen tutkimuksen timotei-nurminata raaka-aineen sokeripitoisuus oli 1. ja 3. sadossa ylärajoilla ja timotei raaka-aineen pitoisuus 2. sadossa suuri verrattuna näihin aikaisempiin kotimaisiin tutkimuksiin. Sokeripitoisuus 2. sadon heinäkasveissa oli suuri puuttuvan typpilannoituksen takia, jolloin kasvi ei kyennyt käyttämään yhteyttämistuotteitaan kasvuun, vaan sokeria kertyi kasviin. Muiden satojen osalta näin selkeää selittävää tekijää ei ollut.

LEGSIL-projektin (Halling ym. 2002) ja Huhtasen ym. (2006) tuloksiin verrattuna 1. sadon puna-apilan raakavalkuaispitoisuus oli lähellä keskiarvoa. Suomalaisen rehutaulukoiden arvoihin verrattuna 1. sadon puna-apilan raakavalkuaispitoisuus oli

keskimääräinen, mutta toisessa sadossa hieman keskiarvoa pienempi. Tuhkaa 1. sadon puna-apilassa oli nykyisessä tutkimuksessa saman verran kuin laajemmissa aiemmissa tutkimuksissa (Halling ym. 2002, Huhtanen ym. 2006). Toisen sadon puna-apilassa tuhkapitoisuus oli samalla tasolla kuin Hallingin ym. (2002) tutkimuksessa, mutta pienempi kuin suomalaisissa rehutaulukoissa (Luke 2018). Sokeria puna-apilassa oli 2. sadossa vähemmän ja 1. sadossa samalla tasolla kuin Hallingin ym. (2002) tutkimuksessa, jossa puna-apilan sokeripitoisuus oli 92 g/kg ka.

Säilöttävyyden kannalta olennaisimpia tekijöitä säilörehun raaka-aineissa ovat kuiva-ainepitoisuus, vesiliukoisten hiilihydraattien pitoisuus ja puskurikapasiteetti (McDonald ym. 1991). EFSA (2006) jakaa nurmikasvustot säilöttävyydeltään kolmeen eri luokkaan vesiliukoisten hiilihydraattien pitoisuuden mukaan. Helposti säilöttävien raaka-aineiden vesiliukoisten hiilihydraattien pitoisuus on yli 30 g/kg, keskivaikeasti säilöttävien 15 – 30 g/kg ja vaikeasti säilöttävien alle 15 g/kg. Tuorekilossa ilmoitetut tavoiterajat ottavat huomioon myös kuiva-ainepitoisuuden. Kaikkien satojen heinäkasviraaka-aineet olivat näiden rajojen perusteella helposti säilöttäviä. Ensimmäisen sadon puna-apila oli keskivaikeasti säilöttävää ja toisen sadon puna-apila oli vaikeasti säilöttävää.

6.2 SÄILÖREHUIEN SÄILÖNNÄLLINEN LAATU

Säilönnälliseltä laadultaan rehut olivat vaihtelevia (taulukko 8). Säilörehun laatua on arvioitu MMM:n (1999) ja DLG:n (2006) esittämien raja-arvojen perusteella ja ohjeet näiden arviointien käyttöön löytyvät liitteistä 1 ja 2. Säilörehujen laatua nämä ohjeet kuvaavat useamman käymistuotteen pitoisuuden sekä pH:n avulla. Myös säilörehun kuiva-ainepitoisuus vaikuttaa laatuluokitukseen molemmissa menetelmissä ja MMM:n (1999) ohjeessa myös säilörehun sokeripitoisuudella on vaikutusta luokitukseen.

DLG:n (2006) menetelmän perusteella huonosti tai erittäin huonosti säilyneitä rehuja ovat 1. sadon 4 tuntia esikuivattu heinäkontrollirehu, 2. sadon apilakontrollirehu ja 2.

sadon apilaentsyymirehu. 1. sadon apilakontrolli ja kaikki 3. sadon säilörehut saavat arvosanan hyvä ja kaikki loput rehut saavat arvosanan erittäin hyvä. MMM:n (1999) arviointimenetelmällä huonon arvosanan saa edellä mainittujen huonojen rehujen lisäksi 1. sadon kaikki apilarehut, 2. sadon apilaentsyymirehu ja 3. sadon rehut. Tyydyttävän arvosanan saavat molemmat 1. sadon MHB säilötyt heinärehut sekä 2. sadon kaikki hapolla säilötyt rehut molemmilla kasvilajeilla. Loput rehut saavat arvosanan hyvä.

Ensimmäisen sadon heinäkasviraaka-aineiden pidempi esikuivatus ei onnistunut ja kuiva-aineissa ei näyttänyt olevan säilönnän kannalta ratkaisevaa eroa, mutta silti kuivemmasta raaka-aineesta tehty kontrollirehu sai arvosanan hyvä (MMM 1999) tai erittäin hyvä (DLG 2006) ja kosteammasta tehty arvosanan huono (MMM 1999) tai erittäin huono (DLG 2006).

Tämän aineiston rehut, yhtä rehua lukuun ottamatta, sisälsivät vähän ammoniumtyypeä (<100 g/kg N), mikä tarkoittaa tyellisten yhdisteiden säilyneen proteiineina, peptideinä ja/tai aminohappoina (Nsereko ym. 1998). Suuri ammoniumtypen osuus rehussa kertoo proteiinien, aminohappojen ja peptidien hajoamisesta säilönnän aikana. Jäljelle jäävä proteiini on lähinnä proteolyysiä kestävää soluseiniin sitoutunutta proteiinia (Rooke ja Hatfield 2003), joka ei erottuisi rehumehuun.

6.3. SÄILÖREHUIEN KEMIALLIEN KOOSTUMUS JA KÄYMISTUOTTEIDEN PITOISUUS

Heinäkasvisäilörehujen sokeripitoisuus oli muurahaishappopitoisilla säilöntäaineilla säilötyissä rehuissa poikkeuksellisen pieni verrattuna kontrolli- ja ymppirehuihin 1. sadossa sekä verrattuna kontrolli- ja entsyymirehuihin 2. sadon. Maitohappopitoisuus sekä happojen ja kaikkien käymistuotteiden kokonaispitoisuudet happorehuissa olivat kuitenkin pienempiä verrattuna edellä mainittuihin muihin käsittelyihin poikkeuksena 1. sadon heinäkontrollirehu, joka oli pilaantunut. Muurahaishapon pitäisi rajoittaa

käymistä verrattuna tämän kokeen muihin säilöntäaineisiin (McDonald ym. 1991, Kung Jr. ym. 2003, Blomqvist 2010), mitä se näyttää käymistuotteiden tuotannon osalta tehneenkin. Käymisen rajoittumisen pitäisi kuitenkin rehuissa näkyä myös suurempana sokeripitoisuutena muihin käsittelyihin verrattuna. Kolmannessa sadossa muurahaishappo puolestaan säilytti sokereita huomattavasti paremmin kuin entsyymi tai kontrolli. Ero 1. ja 2. satoon johtuu suuremmasta happosäilöntäaineen annostelutasosta. Ilmeisesti hapon annostelu ei ole 1. ja 2. sadossa ollut riittävä.

Ensimmäisen sadon kohdalla happorehujen muita käsittelyjä suurempi etanolipitoisuus voi selittää mihin sokerit ovat happorehuista kuluneet. Etanolin tuotanto kertoo hiivojen toiminnasta rehussa ja voi olla että hiivat ovat kuluttaneet sokereita. Etanolin tuotannossa syntyvä hiilidioksidi haihtuu nopeasti eikä se näy kokonaiskäymistuotteiden pitoisuudessa (McDonald ym. 1991, Pahlow ym. 2003). Toinen tekijä voisi olla etikkahappo, jonka pitoisuus myös oli jonkin verran muilla säilöntäaineilla säilöttyjä rehuja suurempi. Etikkahappoa tuottavat esimerkiksi heterofermentatiiviset maitohappobakteerit. Muita niiden tuottamia yhdisteitä ovat maitohappo, etanoli ja hiilidioksidi (McDonald ym. 1991). Toisen sadon heinärehujen kohdalla erot eivät olleet etanoli- ja etikkahappopitoisuuksissa niin selkeitä happorehujen ja muiden rehujen kohdalla, vaikka hieman suurempia näiden käymistuotteiden pitoisuudet happorehuissa olivatkin. Toisen sadon heinärehujen etanolipitoisuus oli kaikilla säilöntäaineilla huomattavan suuri. Kolmannessa sadossa muurahaishapporehussa oli pienempi etanoli- ja etikkahappopitoisuus kuin kontrolli- tai entsyymirehuissa eli 3. sato käyttäytyi näiltä osin päinvastoin kuin kaksi muuta satoa. Myös tämä viittaa 1. ja 2. sadon happosäilöntäaineen annostelun jääneen liian pieneksi.

Säilönnän aikana kuiva-aine-, tuhka- ja raakavalkuaispitoisuudet muuttuivat kokonaisuudessaan melko vähän raaka-aineeseen verrattuna. Raakavalkuaispitoisuus nousi kaikissa rehuissa. Tuhkapitoisuus nousi myös useimmiten säilönnän aikana ja suurin tuhkapitoisuus oli huonoimman säilönnällisen laadun saaneilla rehuilla. Tuhka- ja raakavalkuaispitoisuuden nousu selittyy sokerin ja muiden helposti sulavien aineiden

muuttumisella maitohapoksi ja huonoimmin säilyneissä rehuissa edelleen osittain jopa kaasuiksi (McDonald ym. 1991, Rooke ja Hatfield 2003, Pahlow ym. 2003). Tällöin tuhkan ja raakavalkuaisen osuus kuiva-aineesta luonnollisesti nousee. Kolmannen sadon sulavuuden pieneneminen raaka-aineeseen verrattuna selittyy myös mikrobien helposti sulavien aineiden käytöllä. Huono säilönnällinen laatu selittää myös 1. sadon lyhyemmän esikuivatuksen heinäsäilörehun kuiva-ainepitoisuuden pienenemistä raaka-aineeseen ja muihin säilörehuihin verrattuna. Näin on koska mikrobit hajottavat kuiva-ainetta ja tuottavat niistä orgaanisten happojen lisäksi pieniä määriä myös kaasuja ja vettä (Rooke ja Hatfield 2003). Toisen sadon puna-apila rehujen kuiva-ainepitoisuuden nousu säilönnän aikana puolestaan selittyy puristenesteen erottumisella. Puristenesteen mukana on menetetty myös osa kuiva-aineesta, mutta puristeneste on suurimmaksi osaksi vettä.

6.4 SÄILÖREHUN PURISTUSTULOKSET

6.4.1 KASVILAJIEN EROT

McEniry ja O`Kiely (2013) saivat puristettua puna-apilasäilörehusta suuremman osuuden raakavalkuaisesta rehumehuun kuin heinistä. Näin ei käynyt nykyisen tutkimuksen toisen sadon säilörehujen kanssa, vaan heinistä saatiin apilaa suurempi osuus raakavalkuaisesta rehumehuun. Ensimmäisen sadon puna-apilasta rehumehuun irtosi suurempi osuus raakavalkuaisesta, kun esikuivatusaika oli kasvilajeilla sama eli 24 h. Neljä tuntia esikuivatusta heinäsäilörehusta puolestaan irtosi suurempi osuus raakavalkuaisesta rehumehuun kuin vuorokauden esikuivatusta apilarehusta. Puna-apilan mehu-, tuhka- ja kuiva-ainesaanto olivat puolestaan suurempia kuin heinillä. Myös Francon ym. (2018a) meta-analyysissä huomattiin palkokasvisäilörehuja puristettaessa rehumehusaannon olevan suurempi kuin heinäsäilörehuilla. Ensimmäinen hypoteesi siis toteutui muutoin kuin raakavalkuaissaannon osalta.

Toisen sadon säilörehut olivat kosteita ja etenkin apila oli todella kosteaa. Molempien kasvilajien säilörehuista irtosi spontaanisti puristenestettä. Tätä puristenestettä ei kuitenkaan tutkittu eikä sen määrää ole otettu tässä tutkimuksessa huomioon, mikä voi vaikuttaa toisen sadon kasvilajien välisiin eroihin saannoissa. Saannoissa on myös huomioitava että ne ovat suhdelukuja. Puna-apilasäilörehujen raakavalkuaispitoisuus kuiva-aineessa oli toisessa sadossa kaksi kertaa heinien raakavalkuaispitoisuutta suurempi. Saannon suhdeluvut raakavalkuaisen osalta olivat kuitenkin lähellä toisiaan. Tästä laskettuna puna-apilasäilörehujen todellinen raakavalkuaisen määrä säilörehun kuiva-ainekiloa kohti olisi rehumehussa siis lähes kaksinkertainen heiniin verrattuna.

6.4.2 SÄILÖNTÄAINEIDEN EROT

Vastoin odotuksia muurahaishappo pienensi rehumehun saantoa puristuksessa entsyymiin ja painorehuun verrattuna. Tämä on ristiriidassa Seppälän ym. (2014) tutkimuksen kanssa, jossa muurahaishappo lisäsi rehumehu- ja kuiva-ainesaantoa 6 l/t annostelutasolla kontrolliin verrattuna. Tosin hapon annostelutason suurentuessa saannot olivat kontrollia huonommat. Raakavalkuaissaanto sitä vastoin oli sekä nykyisessä että Seppälän ym. (2014) tutkimuksessa rehumehussa muurahaishapporehussa huonompi kuin kontrollirehussa.

Muurahaishappo on lisännyt säilörehun puristenesteen määrää aiemmissa tutkimuksissa (Jaakkola ym. 1991, Winters ym. 2001). Tosin näissä kokeissa tutkittiin vain spontaania puristenesteen erottumista eikä aktiivista rehumehun puristamista. Myös tässä tutkimuksessa 2. ja 3. sadon säilörehuista erottui puristenestettä, mutta sitä ei ole otettu nykyisessä tutkielmassa huomioon. Tämä on hyvin todennäköisesti vaikuttanut säilöntäaineiden välisiin tuloksiin. Ensimmäisessä sadossa säilörehu oli niin kuivaa, ettei siitä erottunut puristenestettä ja happosäilörehun rehumehu- ja raakavalkuaissaannot olivat kontrollirehun tasolla. Rehumehun raakavalkuaisen laatua nykyisessä tutkimuksessa ei myöskään tutkittu.

Entsyymi ei parantanut heinäsäilörehujen puristustulosta 2. sadon kohdalla muihin säilöntäaineisiin tai kontrolliin verrattuna kummallakaan käytetyllä puristimella. Puna-

apilan kohdalla vain rehumehun kuiva-ainepitoisuus oli suurempi kontrolliin verrattuna. Kolmannen sadon kohdalla entsyymi ei myöskään ollut kontrollia parempi säilöntäaine rehumehun puristusta ajatellen. Entsyymi ei siis antanut yhtä lupaavia tuloksia kuin Rinteen ym. (2017) tutkimuksessa. Jaakkolan ym. (1991) tutkimuksessa entsyymi lisäsi spontaania puristenesteen erottumista kontrolliin verrattuna, mitä saattoi tapahtua myös nykyisessä tutkimuksessa. Tätä ei kuitenkaan tutkittu ja tilanne oli sama kuin muurahaishapon kohdalla eli spontaanin puristenesteen erottuminen on voinut heikentää entsyymirehujen puristustuloksia kontrolliin verrattuna. Toinen hypoteesi ei siis toteutunut, koska muurahaishappo ja entsyymi eivät kumpikaan parantaneet puristustuloksia kontrolliin verrattuna.

6.4.3 SÄILÖREHUIEN KUIVA-AINEPITOISUUDEN VAIKUTUKSET

Säilörehun säilönnän kannalta kuiva-ainepitoisuuden nousu on hyvä asia (McDonald ym. 1991), mutta mehusaantoa se laskee. Saman havaitsi myös Franco ym. (2018a) meta-analyysissään rehumehun puristustuloksiin vaikuttavista tekijöistä. Mehusaannolla oli yhteys muihin saantoihin ja siten säilörehun kuiva-ainepitoisuuden nousu laskee myös tuhkan, raakavalkuaisen ja kuiva-aineen kokonaissaantoa mehussa. Myöskään säilörehun kuiva-ainepitoisuuden lisääntymisen aikaan saama mehun raakavalkuais- ja kuiva-ainepitoisuuden lisääntyminen ei riittänyt kompensoimaan vähentyneitä saantoja. Osittain kosteiden rehujen parempi kuiva-aineiden saanto voi nykyisessä tutkimuksessa johtua myös märimpien rehujen apilaisuudesta. Apilassa on yleensä suurempi raakavalkuais- ja tuhkapitoisuus kuin heinissä (Huhtanen ym. 2006, Luke 2018), mikä voisi lisätä erittymistä mehuun.

Säilörehun kuiva-aine-, raakavalkuais- ja tuhkapitoisuuden suurentuessa myös rehumehun vastaavat pitoisuudet suurentuivat. Samoin kävi Rinteen ym. (2017) tutkimuksessa. Francon ym. (2018a) meta-analyysissä havaittiin säilörehun kuiva-aine- ja raakavalkuaispitoisuuden suurentuessa myös rehumehun vastaavien pitoisuuksien suurenevan. Tämä ja kosteampien rehujen paremmat kuiva-aineen, tuhkan ja raakavalkuaisen saannot puoltavat apilan käyttöä biojalostamoja varten. Saantojen kannalta myös pitkä esikuivatus on jätettävä pois (Franco ym. 2018a). Mehusaannon

lisääntyminen pienensi rehumehun raakavalkuais- ja kuiva-ainepitoisuutta. Eli jos halutaan paljon mehua ja paljon kuiva-aineiden saantoa, on säilörehujen oltava kosteita. Tällöin mehun kuiva-aineiden pitoisuudet ovat pienet. Jos halutaan mehua, jossa on suuri kuiva-ainepitoisuus, on säilörehujen oltava kuivia.

6.4.4 ERI SATOJEN REHUMEHUN PITOISUUDET JA SAANNOT

Raakavalkuainen on rehumehun tärkein ravintoaine ja sen saanto vaikuttaa paljon koko puristusprosessin kannattavuuteen. Kolmannen sadon säilörehuista Haarslev-puristimella saatiin raakavalkuaisesta yli 40 % ja Angel-puristimella yli 50 % rehumehuun, lukuun ottamatta hapolla säilöttyjä rehuja. Hapolla säilöttyjen rehujen raakavalkuaissaanto rehumehuun oli kaksoisruuvipuristimilla 33 – 38 %. Tulokset kaksoisruuvipuristimilla olivat siis samaa tasoa tai jopa yli Washendorfin ym. (2009) tutkimuksen tuloksien (32 – 45 % raakavalkuaisesta rehumehuun). McEniryn ja O’Kielyn (2013) (66 % raakavalkuaisesta rehumehuun) sekä McEniryn ym. (2012) (> 55 % raakavalkuaisesta rehumehuun) tuloksista sen sijaan 3. sadossa jäätiin, mutta näissä kokeissa ennen puristusta säilörehuja käsiteltiin liuottamalla vielä ennen puristusta. Toisen sadon puristuksissa raakavalkuaisesta saatiin Angel-puristimella rehumehuun keskimäärin vain alle 30 %, mikä on huonommin kuin missään edellä mainituista tutkimuksissa kaksoisruuvipuristimilla. Toisen sadon huonoa raakavalkuaissaantoa Angel-puristimella voi selittää myöhäinen niittoajankohta ja säilörehujen korkeahko NDF-pitoisuus. Luken ja Pellon-puristimilla raakavalkuaisen saannot jäivät vielä pienemmiksi kaikissa sadoissa. Tämä selittyy näiden puristinten heikommalla teholla kaksoisruuvipuristimiin verrattuna. Säilörehun satotason ollessa 9000 kg ka/ha/v saadaan kaksoisruuvipuristimilla rehumehuun suurempi raakavalkuaissato hehtaarilta kuin ohran laskennallisella satotasolla.

Mehusaannot olivat 2. ja 3. sadossa suurempia ja 1. sadossa pienempiä kuin Stefańskin ym. (2018) tutkimuksessa, jossa puristettiin hapolla säilöttyjä 1. sadon heinäsäilörehuja. Stefańskin ym. (2018) tutkimuksen säilörehun kuiva-ainepitoisuus oli sama kuin nykyisessä tutkimuksessa 2. sadon heinillä. Suuri kuiva-ainepitoisuus 1. sadon säilörehuissa heikensi puristustulosta mehusaannon osalta nykyisessä tutkimuksessa. Rinteen ym.

(2017) tuloksiin verrattuna mehusaannot olivat 1. ja 3. sadossa pienempiä, mutta 2. sadossa samalla tasolla.

Francon ym. (2018a) meta-analyysissä useiden kokeiden rehumehun kuiva-ainepitoisuuden keskiarvo oli 100 g/kg ka ja raakavalkuaispitoisuuden keskiarvo oli 207 g/kg ka. Nykyisessä tutkimuksessa rehumehun kuiva-ainepitoisuus oli kaikkien puristusten keskiarvona 93 g/kg ka ja raakavalkuaispitoisuus vastaavasti 192 g/kg ka. Tulokset jäivät siis hieman Francon ym. (2018a) tuloksia pienemmiksi. Kromuksen ym. (2004) tutkimuksessa raiheinäsäilörehusta puristettaessa rehumehun raakavalkuaispitoisuus oli puolestaan 170 g/kg ka ja sinimailasesta puristettaessa 290 g/kg ka. Nykyisessä tutkimuksessa 1. sadon puna-apilasäilörehuista puristetun mehun raakavalkuaispitoisuus (281 g/kg ka) oli lähes yhtä suuri kuin sinimailasesta puristetussa mehussa, mutta toisen sadon raakavalkuaispitoisuus oli pienempi. Kuiva-ainepitoisuudeksi Kromus ym. (2004) raportoivat raiheinäsäilörehusta puristetulle rehumehulle 86 g/kg.

Ensimmäisen sadon rehumehun tuhkapitoisuus oli pienempi kuin Rinteen ym. (2017) ja Stefańskin ym. (2018) tutkimuksissa. Puna-apilarehuista puristetussa rehumehussa raakavalkuaispitoisuus oli Stefańskin ym. (2018) tutkimuksen tulosten tasolla ja heinistä puristetussa mehussa pienempi. Rinteen ym. (2017) tutkimuksen tuloksiin verrattuna rehumehun raakavalkuaispitoisuus oli puolestaan suurempi myös heinillä. Rehumehun kuiva-ainepitoisuus oli huomattavasti suurempi kuin Stefańskin ym. (2018) tutkimuksessa, mikä selittyy säilörehujen suuremmalla kuiva-ainepitoisuudella. Kuiva-aine-, tuhka- ja raakavalkuaissaannot 1. sadon rehumehussa olivat pienempiä kuin Stefańskin ym. (2018) tutkimuksessa, jossa säilörehun kuiva-ainepitoisuus oli paljon pienempi. Rinteen ym. (2017) tutkimuksen kuivemman säilörehun puristustuloksiin verrattuna 1. sadon kuiva-aine-, tuhka- ja raakavalkuaissaannot rehumehussa olivat samalla tasolla. Tämänkin tutkimuksen kosteampiin rehuihin verrattuna puristusten saannot olivat nykyisessä tutkimuksessa pienempiä.

Mehun tuhka- ja raakavalkuaispitoisuudet olivat 2. sadon heinillä reilusti pienemmät kuin Rinteen ym. (2017) ja Stefańskin ym. (2018) tutkimuksissa. Puna-apilastakin puristettaessa raakavalkuaispitoisuus oli pienempi kuin edellä mainittujen tutkimusten

tuloksissa. Rehumehun tuhkapitoisuus sitä vastoin oli apilalla samalla tasolla tai hiukan suurempi kuin aiemmissa tutkimuksissa heinillä. Rehumehun kuiva-ainepitoisuus oli samalla tasolla Stefańskin ym. (2018) tulosten kanssa. Toisen sadon kuiva-ainesaanto oli heinillä samaa tasoa Rinteen ym. (2017) ja Stefańskin ym. (2018) tutkimusten kanssa ja apilalla parempi. Raakavalkuais- ja tuhkaasaannoissa sitä vastoin jäätiin heinillä alle näiden aiempien tutkimusten tulosten. Puna-apilalla raakavalkuaissaanto oli nykyisessä tutkimuksessa Rinteen ym. (2017) ja Stefańskin ym. (2018) heinärehuja pienempi, mutta tuhkaasaanto oli suurempi.

Rehumehun tuhkapitoisuus oli nykyisessä kokeessa 3. sadossa pienempi, mutta raakavalkuaispitoisuus oli suurempi kuin Rinteen ym. (2017) tutkimuksessa. Stefańskin ym. (2018) tutkimukseen verrattuna kuiva-ainepitoisuus oli suurempi ja tuhkapitoisuus sama. Raakavalkuaispitoisuus rehumehussa oli Stefańskin ym. (2018) tutkimukseen verrattuna pienempi vain happosäilöntäaineella. Kolmannen sadon kuiva-aine- ja raakavalkuaissaannot olivat pienempiä kuin Rinteen ym. (2017) tutkimuksessa, mutta tuhkaasaanto oli suurempi nykyisessä tutkimuksessa. Stefańskin ym. (2018) tutkimuksen 1. sadon tuloksiin verrattuna kuiva-aine-, raakavalkuais- ja tuhkaasaannot sitä vastoin olivat nykyisessä tutkimuksessa suurempia, vaikka säilörehut olivatkin nykyisessä tutkimuksessa kuivempia.

6.4.5 KIINTOJAE

Kolmannen sadon kiintojakeen kuiva-ainepitoisuus eri puristimilla oli lähes sama, mutta tuhkan ja raakavalkuaisen pitoisuudet kuivajakeessa olivat suurempia kuin Stefańskin ym. (2018) tutkimuksessa. Erot nykyisen ja Stefańskin ym. (2018) tutkimusten välillä johtuvat todennäköisesti säilörehujen erilaisuudesta. Stefańskin ym. (2018) tutkimuksessa säilörehu oli tehty 1. sadon heinänuurmesta ja sen NDF-pitoisuus oli suurempi ja kuiva-ainepitoisuus pienempi kuin nykyisessä tutkimuksessa.

McEniry ja O'Kiely (2013) totesivat tutkimuksessaan, ettei kiintojakeen raakavalkuaispitoisuus riitä pötsimikrobien käyttöön. Nykyisessä tutkimuksessa raakavalkuaispitoisuus kiintojakeessa oli kuitenkin suurempi kuin edellä mainitussa tutkimuksessa kaikilla muilla paitsi Angel-puristimella. Savosen ym. (2018) tutkimuksessa käytettiin Haarslev-puristimella puristettua kiintojaetta lypsylehmien seosrehun osana. Nykyisessä tutkimuksessa Haarslev-puristimella puristetussa kiintojakeessa oli suurempi raakavalkuais- ja tuhkapitoisuus, mutta pienempi kuiva-aine- ja NDF-pitoisuus kuin Savosen ym. (2018) tutkimuksessa samalla puristimella tehdyssä kiintojakeessa. Myös Damborg ym. (2018) totesivat kiintojakeen soveltuvan jopa lypsylehmien rehuksi. Kuiva-ainepitoisuus oli nykyisessä tutkimuksessa suurempi, tuhka- ja raakavalkuaispitoisuudet sitä vastoin olivat pienemmät kuin Damborgin ym. (2018) tutkimuksessa raiheinällä samalla puristimella.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän tutkielman tavoitteena oli selvittää kuinka puna-apila- ja nurmiheinäsäilörehut sopivat rehumehun tuotantoon. Toisena tavoitteena oli selvittää eri säilöntäaineiden vaikutus rehumehun tuotantoon. Kasvilajilla oli vaikutus rehumehun tuotannossa. Puna-apila oli heiniä parempi säilörehun raaka-aine rehumehun tuotantoon ja 1. hypoteesi toteutuikin pääosin. Raakavalkuaisen saannon kannalta kasvilajilla ei ollut merkitystä rehumehun tuotantoon ja tämä poikkesi 1. hypoteesista. Säilörehujen säilöntäaineet eivät tässä tutkielmassa parantaneet rehumehun puristustuloksia ennakkoon odotetun mukaisesti, ja 2. hypoteesi ei näin ollen toteutunut. Muurahaishappopohjainen säilöntäaine jopa heikensi säilörehujen puristustuloksia etenkin raakavalkuaisen saantojen osalta.

Kiintojakeen ominaisuuksiin säilöntäaineilla oli vain vähän vaikutuksia. Kaikki säilöntäaineet kuitenkin paransivat säilörehujen säilönnällistä laatua kontrolliin verrattuna ja kosteissa rehuissa muurahaishappo oli paras säilöntäaine säilönnällisen laadun kannalta. Eniten rehumehun saantoon ja ravintoaineiden pitoisuuksiin vaikutti

säilörehun kuiva-ainepitoisuus. Säilörehun kuiva-ainepitoisuuden noustessa rehumehun ja ravintoaineiden saannot laskivat.

Säilörehusta puristetussa rehumehussa on mahdollisuuksia valkuaistäydennysrehujen omavaraisuutta ajatellen ja kiintojake voidaan hyödyntää nautojen rehuna tai biokaasun tuotannossa. Lisää tutkimuksia säilörehusta puristetun rehumehun tuotannon optimoimiseksi kuitenkin tarvitaan.

8 KIITOKSET

Kiitokset Innofeed-hankkeelle ja sen rahoittajille sekä muille osallistuneille tahoille. Suuret kiitokset työni ohjaajille Luken tutkimusprofessori Marketta Rinteelle ja Helsingin yliopiston yliopistonlehtori Seija Jaakkolalle kannustuksesta ja hyvistä ohjeista.

Haluan kiittää myös vaimoani Saraa tuesta ja ajasta tutkielman tekoa varten sekä kirjoitelmieni kommentoimisesta.

9 LÄHTEET

Barber, R. S., Braude, R., Mitchell, K. G., Partridge, I. G. & Pittman, R. J. 1979. Value of lucerne juice and grass juice as sources of protein for the growing pig. *Animal Feed Science and Technology* 4: 233-262.

Blomqvist, L. 2010. Meta-analyysi muurahaishapon vaikutuksista säilörehun käymislaatuun. Pro gradu-tutkielma. Helsingin yliopisto. 56 s.

Braude, R. 1976. New sources of protein for pigs. *Proceedings of the Nutrition Society* 35: 93-101.

- Buxton, D. R. & Redfearn, D. D. 1997. Plant limitations to fiber digestion and utilization. *The Journal of Nutrition* 127: 814-818.
- Carpintero, C. M., Henderson, A. R. & McDonald, P. 1979. The effect of some pre-treatments on proteolysis during the ensiling of herbage. *Grass and Forage Science* 34: 311-315.
- Damborg, V. K., Stødkilde, L., Jensen, S. K. & Weisbjerg, M. R. 2018. Protein value and degradation characteristics of pulp fibre fractions from screw pressed grass, clover, and lucerne. *Animal Feed Science and Technology* 244: 93-103.
- Elizalde, J. C., Merchen, N. R. & Faulkner, D. B. 1999. Fractionation of fiber and crude protein in fresh forages during the spring growth. *Journal of Animal Science* 77: 476-484.
- European Food Safety Authority (EFSA) 2006. Opinion of the Panel on additives and products or substances used in animal feed (FEEDAP) for the establishment of guidelines on the assessment of safety and efficacy of silage additives, on a request from the Commission under Article 7(5) of Regulation (EC) No 1831/2003. *EFSA Journal* 4 (4): 1-10.
- Franco, M., Hurme, T., Winqvist, E. & Rinne, M. 2018a. Grass silage for biorefinery—A meta-analysis of silage factors affecting liquid–solid separation. *Grass and Forage Science*. Verkkojulkaisu saatavissa: <https://doi-org.libproxy.helsinki.fi/10.1111/gfs.12421>.
- Franco, M., Jalava, T., Stefański, T., Kuoppala, K., Timonen, P., Winqvist, E., Siika-aho, M. & Rinne, M. 2018b. Grass silage for biorefinery: Effect of additives on silage quality and liquid-solid separation of timothy and red clover silages. Teoksessa: Udén, P., Eriksson, T., Spörndly, R., Rustas, B- O., & Liljeholm, M. (toim.) *Proceedings of the 9th Nordic Feed Science Conference*, Uppsala, Ruotsi, 12.-13.6.2018. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Animal Nutrition and Management s. 49-54.
- Guo, X. S., Ding, W. R., Han, J. G. & Zhou, H. 2008. Characterization of protein fractions and amino acids in ensiled alfalfa treated with different chemical additives. *Animal Feed Science and Technology* 142: 89-98.
- Gustavsson, A. & Martinsson, K. 2004. Seasonal variation in biochemical composition of cell walls, digestibility, morphology, growth and phenology in timothy. *European Journal of Agronomy* 20 (3): 293-312.
- Haacker, K., Block, H. & Weissbach, F. 1983. Zur kolorimetrischen Milchsäurebestimmung in Silagen mit p-Hydroxydiphenyl. *Archives of Animal Nutrition* 33: 505-512.

- Halling, M. A., Hopkins, A., Nissinen, O., Paul, C., Tuori, M. & Soelter, U. 2002. Forage legumes—productivity and composition. Teoksessa: Wilkins, R. J. & Christian, P. Legume Silages for Animal Production-LEGSIL. Proceedings of an International Workshop supported by the EU and held in Braunschweig, Saksa. 8.-9.7.2001. Landbauforschung Völkenrode Sonderheft 234. s. 5-15.
- Houseman, R. & Connell, J. 1976. The utilization of the products of green-crop fractionation by pigs and ruminants. *Proceedings of the Nutrition Society* 35: 213-220.
- Huhtanen, P., Nousiainen, J. & Rinne, M. 2006. Recent developments in forage evaluation with special reference to practical applications. *Agricultural and Food Science* 15: 293-323.
- Huhtanen, P. J., Blauwiel, R. & Saastamoinen, I. 1998. Effects of intraruminal infusions of propionate and butyrate with two different protein supplements on milk production and blood metabolites in dairy cows receiving grass silage-based diet. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 77: 213-222.
- Huida, L., Väätäinen, H. & Lampila, M. 1986. Comparison of dry matter contents in grass silages as determined by oven drying and gas chromatographic water analysis. *Annales Agriculturae Fenniae* 25: 215-230.
- Hulkkonen, I. 2019. Nurmisäilörehun nestejakeen vaikutukset lihasikojen tuotantotuloksiin. Pro gradu-tutkielma. Helsingin yliopisto. 52 s.
- Jaakkola, S., Huhtanen, P. & Vanhatalo, A. 1990. Fermentation quality of grass silage treated with enzymes or formic acid and nutritive value in growing cattle fed with or without fish meal. *Acta Agriculturae Scandinavica* 40: 403-414.
- Jaakkola, S., Huhtanen, P. & Hissa, K. 1991. The effect of cell wall degrading enzymes or formic acid on fermentation quality and on digestion of grass silage by cattle. *Grass and Forage Science* 46: 75-87.
- Kaiser, E., Weiss, K., Nußbaum, H., Kalzendorff, K., Pahlow, G., Schenkell, H., Schwarts, F. J., Spiekers, H., Staudacher, W & Thaysen, J 2006. Grobfutterbewertung. Teil B. DLG-Schlüssel zur Beurteilung der Gärqualität von Grünfuttersilagen auf Basis der chemischen Untersuchung. [DLG criteria to evaluate fermentation quality of grass silages based on chemical analysis]. Saatavissa: http://www.dlg.org/fileadmin/downloads/fachinfos/futtermittel/grobfutterbewertung_B.pdf. DLG_Information 2/2006: DLG. Viitattu 9/2017.

- Kamm, B., Hille, C., Schönicke, P. & Dautzenberg, G. 2010. Green biorefinery demonstration plant in Havelland (Germany). *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* 4: 253-262.
- Kamm, B., Schönicke, P. & Kamm, M. 2009. Biorefining of Green Biomass – Technical and Energetic Considerations. *CLEAN – Soil, Air, Water* 37: 27-30.
- Kaukovirta-Norja, A., Leinonen, A., Morkkila, M. & Wessberg, N. 2015. Tiekartta Suomen proteiiniomavaraisuuden parantamiseksi. VTT Visions 6. Espoo, Suomi: Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy.
- Kirchhof, S., Eisner, I., Gierus, M. & Südekum, K. -. 2010. Variation in the contents of crude protein fractions of different forage legumes during the spring growth. *Grass and Forage Science* 65: 376-382.
- Kromus, S., Wachter, B., Koschuh, W., Mandl, M., Krotscheck, C. & Narodoslowsky, M. 2004. The green biorefinery Austria-development of an integrated system for green biomass utilization. *Chemical and biochemical engineering quarterly* 18: 8-12.
- Kromus, S., Kamm, B., Kamm, M., Fowler, P. & Narodoslowsky, M. 2008. Green Biorefineries: The Green Biorefinery Concept - Fundamentals and Potential. Teoksessa: Kamm, B., Gruber, P. R. & Kamm, M. (toim.). *Biorefineries-Industrial Processes and Products*. Wiley-VCH Verlag GmbH, s. 253-294.
- Kung Jr., L., Stokes, M. R. & Lin, C. 2003. Silage additives. Teoksessa: Al-Amoodi, L., Buxton, Dwayne R., Harrison, J. H., Muck, R. E. (toim.). *Silage science and technology*. Madison, WI, USA. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America. s. 305-360. 927s.
- Lee, M. R. F., Scott, M. B., Tweed, J. K. S., Minchin, F. R. & Davies, D. R. 2008. Effects of polyphenol oxidase on lipolysis and proteolysis of red clover silage with and without a silage inoculant (*Lactobacillus plantarum* L54). *Animal Feed Science and Technology*, 144 (1): 125-136.
- Luke 2019. Rehutaulukot ja ruokintasuositukset. Saatavissa: www.luke.fi/rehutaulukot LuonnonvarakeskusLuke. Viitattu 4.4.2019.
- Mandl, M. G. 2010. Status of green biorefining in Europe. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* 4: 268-274.
- McCullough, H. 1967. The determination of ammonia in whole blood by a direct colorimetric method. *Clínica Chimica Acta* 17: 297-304.

- McDonald, P., Henderson, A. R. & Heron, S. J. E. 1991. The biochemistry of silage. 2. painos. Marlow: Chalcombe Publications. 340 s.
- McEniry, J. & O'Kiely, P. 2013. The estimated nutritive value of three common grassland species at three primary growth harvest dates following ensiling and fractionation of press-cake. *Agricultural and Food Science* 22: 194-200.
- McEniry, J., Finnan, J., King, C. & O'Kiely, P. 2012. The effect of ensiling and fractionation on the suitability for combustion of three common grassland species at sequential harvest dates. *Grass and Forage Science* 67: 559-568.
- McEniry, J. & O' Kiely, P. 2014. 11 - Developments in grass-/forage-based biorefineries. Teoksessa: Waldron, K. (toim.). *Advances in Biorefineries*. Woodhead Publishing., s. 335-363.
- MMM 1999. MMM:n päätös 48/1999 tuoreen rehukasvin säilöntäaineista.
- Muck, R. E. 2010. Silage microbiology and its control through additives. *Revista Brasileira de Zootecnia* 39: 183-191.
- Novalin, S. & Zweckmair, T. 2009. Renewable resources – green biorefinery: separation of valuable substances from fluid-fractions by means of membrane technology. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* 3: 20-27.
- Nsereko, V. L., Rooke, J. A., Newbold, C. J. & Wallace, R. J. 1998. Influence of protease inhibitors on nitrogen distribution in ensiled perennial ryegrass and the utilisation of silage nitrogen for growth by rumen bacteria in vitro. *Animal Feed Science and Technology* 76: 51-63.
- Ohshima, M. & McDonald, P. 1978. A review of the changes in nitrogenous compounds of herbage during ensilage. *Journal of the science of food and agriculture* 29: 497-505.
- Pahlow, G., Rammer, C., Slottner, D. & Tuori, M. 2002. Ensiling of legumes. Teoksessa: Wilkins, R. J. & Christian, P. *Legume Silages for Animal Production-LEGSIL*. Proceedings of an International Workshop supported by the EU and held in Braunschweig, Saksa. 8.-9.7.2001. *Landbauforschung Völkenrode Sonderheft* 234: 27-31.
- Pahlow, G., Muck, R. E., Driehuis, F., Oude Elferink, S. J. & Spoelstra, S. F. 2003. Microbiology of silage. Teoksessa: Al-Amoodi, L., Buxton, Dway R., Harrison, J. H., Muck, R. E. (toim.). *Silage science and technology*. Madison, WI, USA. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America. s. 31-93. 927 s.

- Patterson, D. & Walker, N. 1979. The use of effluent from grass silage in the diet of finishing pigs. II. Assessment of nutritive value of fresh and stored effluent. *Animal Feed Science and Technology* 4: 275-293.
- Pirie, N. W. 1942. The direct use of leaf protein in human nutrition. *Chemistry and Industry* 61: 45-48.
- Pirie, N. W. 1959. The large-scale separation of fluids from fibrous pulps. *Journal of Biochemical and Microbiological Technology and Engineering* 1: 13-25.
- Pirie, N. W. 1978. Leaf protein and other aspects of fodder fractionation. Cambridge: Cambridge University Press. 183 s.
- ProAgria Keskusten Liitto 2016. Mediatiedote 5.4.2016. Saatavissa: <https://www.proagria.fi/ajankohtaista/suomalaiset-tuotosseurantalehmat-kirivat-uuteen-tuotosennatykseen-haasteellisessa>. ProAgria Keskusten Liitto. Julkaistu 5.4.2016. Viitattu 8.5.2017.
- Rinne, M. 2017. Nurmesta rehua sioille. Agris-hankkeen aloitusseminaari 19.4.2017 Turku. Esitys saatavissa IBCFinlandin sivulta: <https://www.ibcfinland.fi/projects/innofeed/>. Viitattu 19.4.2019.
- Rinne, M., Jalava, T., Stefanski, T., Kuoppala, K., Timonen, P., Winqvist, E. & Siika-Aho, M. 2018a. Optimising grass silage quality for green biorefineries. Teoksessa: Horan, B., Hennessy, D., O'Donovan, M., Kennedy, E., McCarthy, B., Finn, J.A. & O'Brien, B. (toim.) Sustainable meat and milk production from grasslands. Proceedings of the 27th General Meeting of the European Grassland Federation, Cork, Irlanti, 17-21.6.2018. Teagasc, Animal & Grassland Research and Innovation Centre, s. 820-822.
- Rinne, M., Keto, L., Siljander-Rasi, H. & Stefański, T. 2018b. Grass silage for biorefinery—Palatability of silage juice for growing pigs and lactating cows. Teoksessa: Gerlach K. & Südekum K.-H (toim.) Proceedings of the XVIII International Silage Conference Bonn, Saksa, 24.–26.7.2018. s. 184-186.
- Rinne, M. & Nykänen, A. 2000. Timing of primary growth harvest affects the yield and nutritive value of timothy-red clover mixtures. *Agricultural and Food Science in Finland* 9: 121-134.
- Rinne, M., Olt, A., Nousiainen, J., Seppälä, A., Tuori, M., Paul, C., Fraser, M. & Huhtanen, P. 2006. Prediction of legume silage digestibility from various laboratory methods. *Grass and Forage Science* 61: 354-362.

- Rinne, M., Timonen, P., Stefanski, T., de Oliveira Franco, M., Vainio, M., Winkvist, E. & Siika-aho, M. 2018c. Grass silage for biorefinery—Effects of type of additive and separation method. Teoksessa: Gerlach K. & Südekum K.-H (toim.) Proceedings of the XVIII International Silage Conference Bonn, Saksa, 24.–26.7.2018. s. 182-184.
- Rinne, M., Winkvist, E., Pihlajaniemi, V., Niemi, P., Seppälä, A. & Siika-Aho, M. 2017. Potential of fibrolytic enzymes in ensiling grass for a biorefinery process. Teoksessa: Udén, P., Eriksson, T., Spörndly, R., Rustas, B- O., Mogodiniyai, K. & Liljeholm, M. (toim.) Proceedings of the 8th nordic feed science conference, Uppsala, Ruotsi, 13.-14.6.2017. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Animal Nutrition and Management.
- Rooke, J. A. & Hatfield, R. D. 2003. Biochemistry of ensiling. Teoksessa: Al-Amoodi, L., Buxton, Dway R., Harrison, J. H., Muck, R. E. (toim.). Silage science and technology. Madison, WI, USA. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America. s. 95-139. 927 s.
- Salo, T., Euroala, M., Rinne, M., Seppälä, A., Kaseva, J. & Kousa, T. 2014. The effect of nitrogen and phosphorus concentrations on nutrient balances of cereals and grass silage. MTT Raportti 147. Jokioinen, Suomi: MTT 37 s.
- Savonen, O., Franco, M., Stefański, T., Mäntysaari, P., Kuoppala, K. & Rinne, M. 2018. Grass silage for biorefinery - dairy cow responses to diets based on solid fraction of grass silage. Teoksessa: Udén, P., Eriksson, T., Spörndly, R., Rustas, B- O., & Liljeholm, M. (toim.) Proceedings of the 9th Nordic Feed Science Conference, Uppsala, Ruotsi, 12.-13.6.2018. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Animal Nutrition and Management s. 55-60.
- Seppälä, A., Kyntäjä, S., Blasco, L., Siika-Aho, M., Hautala, S., Byman, O., Ilvesniemi, H., Ojamo, H., Rinne, M. & Harju, M. 2014. Grass silage extract, feed component suitable for pigs-prospects for on farm biorefinery. Grass silage extract, feed component suitable for pigs-prospects for on farm biorefinery. Teoksessa: Udén, P. Proceedings of the 5th Nordic feed science conference, Uppsala, Ruotsi, 10.-11.6.2014. Sveriges lantbruksuniversitet.
- Solati, Z., Jørgensen, U., Eriksen, J. & Sørengaard, K. 2017. Dry matter yield, chemical composition and estimated extractable protein of legume and grass species during the spring growth. Journal of the Science of Food and Agriculture 97 (12): 3958-3966.
- Somogyi, M. 1945. A new reagent for the determination of sugars. Journal of Biological Chemistry 160: 61-68.

- Stefański, T., Franco, M., Kautto, O., Jalava, T., Winquist, E. & Rinne, M. 2018. Grass silage for biorefinery–Separation efficiency and aerobic stability of silage and solid fraction. Teoksessa: Udén, P., Eriksson, T., Spörndly, R., Rustas, B- O., & Liljeholm, M. (toim.) Proceedings of the 9th Nordic Feed Science Conference, Uppsala, Ruotsi, 12.-13.6.2018. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Animal Nutrition and Management s. 87-94.
- Stødkilde, L., Damborg, V. K., Jørgensen, H., Lærke, H.,N. & Jensen, S. 2018. White clover fractions as protein source for monogastrics: dry matter digestibility and protein digestibility-corrected amino acid scores. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 98: 2557-2563.
- Sullivan, M. L. & Hatfield, R. D. 2006. Polyphenol oxidase and o-diphenols inhibit postharvest proteolysis in red clover and alfalfa. *Crop Science* 46: 662-670.
- Suomen virallinen tilasto 2017. Käytössä oleva maatalousmaa [verkkojulkaisu] Helsinki: Luonnonvarakeskus. Saatavissa: <http://www.stat.fi/til/kaoma/index.html>. Julkaistu 4.4.2017. Viitattu 15.6.2017.
- Thang, V. H., Koschuh, W., Kulbe, K. D., Kromus, S., Krotscheck, C. & Novalin, S. 2004. Desalination of high salt content mixture by two-stage electrodialysis as the first step of separating valuable substances from grass silage. *Desalination* 162: 343-353.
- Van Soest, P. v., Robertson, J. & Lewis, B. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74: 3583-3597.
- Van Soest, P. & Robertson, J. 1981. The detergent system of analysis and its application to human foods. *The Analysis of Dietary Fiber in Foods*. Marcel Dekker, New York. s. 123-158.
- Wachendorf, M., Richter, F., Fricke, T., Graß, R. & Neff, R. 2009. Utilization of semi-natural grassland through integrated generation of solid fuel and biogas from biomass. I. Effects of hydrothermal conditioning and mechanical dehydration on mass flows of organic and mineral plant compounds, and nutrient balances. *Grass and Forage Science* 64: 132-143.
- Winters, A. L., Fychan, R. & Jones, R. 2001. Effect of formic acid and a bacterial inoculant on the amino acid composition of grass silage and on animal performance. *Grass and Forage Science* 56: 181-192.

LIITE 1: DLG:n (2006) ANTAMAT PISTEYTYSOHJEET SÄILÖREHUJEN SÄILÖNNÄLLISELLE LAADULLE

Ensin annetaan pisteitä taulukon mukaan voi happopitoisuuden perusteella. Tähän sitten joko lisätään tai vähennetään pisteitä etikkahappopitoisuuden ja pH:n mukaan.

Voi happoa, g/kg ka	Pisteet	Etikkahappoa, g/kg ka	Pisteet
0 - 3	90	<30	0
>3 - 4	81	>30 - 35	-10
>4 - 7	72	>35 - 45	-20
>7 - 10	63	>45 - 55	-30
>10 - 13	54	>55 - 65	-40
>13 - 16	45	>65 - 75	-50
>16 - 19	36	>75 - 85	-60
>19 - 26	27	>85	-70
>26 - 36	18		
>36 - 50	9		
>50	0		

Voi happoa =

voi happo+isovoi happo+valeriaanahappo+isovaleriaanahappo+kapronihappo

Etikkahappoa = etikkahappo+propionihappo

Kuiva-aine, alle 300 g/kg	Kuiva- aine, 300 - 450 g/kg	Kuiva- aine, yli 450 g/kg	Pisteet
pH	pH	pH	
<4	<4,5	<5,0	10
>4,0 - 4,3	>4,5 - 4,8	>5,0 - 5,3	5
>4,3 - 4,6	>4,8	>5,3	0
>4,6			-5

Yhteispisteet	Sanallinen arvio
100 - 90	erittäin hyvä
89 - 72	hyvä
71 - 52	keskinkertainen
51 - 30	huono
<30	erittäin huono

LIITE 2. MMM:N (1999) MÄÄRITTELEMÄT LAATUKRITEERIT SÄILÖREHUN SÄILÖNNÄLLISELLE LAADULLE

	pH	Maitohappo, g/kg	Etikkahappo, g/kg	Voihappo, g/kg	Ammoniakkityppi, g/kg	typeä
Hyvä	4,2	25	6	1	80	
Tyydyttävä	4,2	ei rajaa	10	1	120	
Huono	>4,2	-	>10	>1	>120	

pH voi olla korkeampi käytettäessä käymistä rajoittavia säilöntäaineita. Kuiva-ainepitoisuuden ollessa alle 275 g/kg, voi pH olla 4,2 – 4,4, jos säilörehun sokeripitoisuus on suurempi kuin 7 g/kg. Happojen pitoisuudet lasketaan tuoreesta rehusta.

Kuiva-ainepitoisuus vaikuttaa hyväksyttyyn pH:hon seuraavasti:

Korkein kuiva-ainepitoisuus, g/kg pH:n oltava pienempi kuin:

275	4,2
300	4,3
325	4,4
350	4,5
375	4,6
400	4,7
425	4,8
450	4,9

pH voi olla 0,2 %-yksikköä korkeampi, mikäli säilörehun sokeripitoisuus on yli 30 g/kg.

Kuiva-ainepitoisuuden ylittäessä 450 g/kg, ei pH:lle ole rajoitusta.